

POHJAVEDEN KLORIDIPITOISUUKSIEN MUUTOKSET
ENSIMMÄISEN SALPAUSSELÄN ALUEELLA

Nina Lindroos

10.4.2015

Pro Gradu -tutkielma

GEOTIETEIDEN JA

MAANTIETEEN LAITOS

HELSINGIN YLIOPISTO

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET – UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty/Section		Laitos – Institution – Department	
Tekijä – Författare – Author			
Työn nimi – Arbetets titel – Title			
Oppiaine – Läroämne – Subject			
Työn laji – Arbetets art – Level		Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET – UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty/Section		Laitos – Institution – Department
Tekijä – Författare – Author		
Työn nimi – Arbetets titel – Title		
Oppiaine – Läroämne – Subject		
Työn laji – Arbetets art – Level	Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages
<div>Tiivistelmä – Referat – Abstract</div>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information		

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	7
2. SUOLAN KÄYTTÖ LIUKKAUDENTORJUNNASSA	9
2.1. Teiden talvihoitoluokat	10
2.2. Tiesuolauksen vaikutukset pohjaveteen.....	11
2.3. Tiesuolan haitallisten vaikutusten vähentämiskeinot.....	12
2.4. Liukkaudentorjunta Ruotsissa ja Kanadassa.....	14
3. KLOORIDIN ESIINTYMINEN POHJAVESISSÄ	15
3.1. Pohjaveden luonnollinen kloridipitoisuustaso	15
3.2. Kloridipitoisuuden suositusarvo talousvedelle	16
3.3. Klooridin alkuperä	16
3.4. Klooridin kulkeutuminen	17
3.5. Pohjavesien kloridipitoisuuksien seuranta	18
3.6. Kloridipitoisuus eri vuodenaikoina.....	19
3.7. Näytteenottosyvyys	20
3.8. Klooridin poistuminen pohjavesimuodostumasta.....	20
4. TUTKIMUSALUEEN GEOLOGIA	21
4.1. Ensimmäisen Salpausselän synty.....	21
4.2. Ensimmäisen Salpausselän rakenne.....	22
4.3. Ensimmäisen Salpausselän pohjavesivarat	24
4.4. Alueen erityisriskit.....	26
5. TUTKIMUSALUEISTOT	28
5.1. Pohjavesialueet.....	28
5.1.1. Pohjavesialueiluokka	29
5.1.2. Pohjavesialueen kemiallinen tila.....	29
5.1.3. Kokonaispinta-ala ja muodostumisalueen pinta-ala	30
5.1.4. Imeytymiskerroin ja arvio muodostuvan pohjaveden määrästä.....	30
5.1.5. Teoreettiset geologiset tyyppimuodostumat	31
5.1.6. Pohjavesialueen antikliinisuus/synkliinisyys.....	32
5.1.7. Vedenotto	32
5.2. Havaintopisteet.....	33
5.2.1. Havaintopisteiden valintaperusteet	33
5.2.2. Havaintopisteen tyyppi	33

5.2.3. Havaintopisteistä määritetyt pohjaveden kloridipitoisuudet.....	34
5.2.4. Havainnointiaika	34
5.3. Tiet	35
5.3.1. Teiden valintaperusteet	35
5.3.2. Tien aiheuttama riski pohjavedelle	36
5.3.3. Tiesuolan käyttömäärät	37
5.3.4. Tieosuuden talvihoitoluokka ja hoitoluokan muutokset	38
5.3.5. Tieosuuden sijainti ja pituus pohjaveden muodostumisalueella.....	39
5.3.6. Havaintopiste-tieparien välinen etäisyys	39
5.3.7. Tien pohjavesisuojaukset	40
6. TILASTOLLISET TUTKIMUSMENETELMÄT.....	41
6.1. Tilastolliset tunnusluvut.....	41
6.2. Trendianalyysi.....	41
6.3. Regressioanalyysi.....	41
7. TUTKIMUSTULOKSET	42
7.1. Kloridipitoisuustrendit koko seurantahistorian ajalta	42
7.2. Tiesuolausmäärän vaikutus kloridipitoisuuksiin.....	43
7.3. Pohjaveden kloridipitoisuudet eri ajanjaksoina	46
7.4. Kloridipitoisuuden kehitys eri pitoisuusluokissa 2000-luvulla.....	48
7.5. Alueelliset erot pohjaveden kloridipitoisuuksissa.....	50
7.6. Tien vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin	55
7.6.1. Tien ja havaintopisteen välinen etäisyys.....	55
7.6.2. Tien sijainti pohjaveden muodostumisalueella	56
7.6.3. Tieosan pituus pohjaveden muodostumisalueella.....	57
7.7. Luiskasuojauksen vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin.....	57
7.7.1. Luiskasuojauksen toimivuuden arvioiminen tilastollisen analyysin avulla. 57	
7.7.2. Luiskasuojauksen toimivuuden arvioiminen pohjaveden kloridipitoisuuden trendimuutosten avulla	58
7.8. Geologisen ympäristön vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin	58
7.8.1. Pohjavesialueen kokonaispinta-ala ja muodostumisalueen pinta-ala	59
7.8.2. Muodostuvan pohjaveden määrä ja maaperän imeytymiskerroin	62
7.8.3. Teoreettiset tyyppimuodostumat.....	63
7.8.4. Pohjavesialueen antikliinisuus/synkliinisyys	64
7.9. Vedenoton vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin.....	65

7.10. Usean muuttujan regressioanalyysi	66
8. TULOSTEN TARKASTELU	69
8.1. Pohjaveden kloridipitoisuustrendit koko seurantahistorian ajalta	69
8.2. Tiesuolausmäärän vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin	71
8.3. Pohjaveden kloridipitoisuudet eri ajanjaksoina	72
8.4. Kloridipitoisuuksien kehitys eri pitoisuusluokissa 2000-luvulla	73
8.5. Alueelliset erot pohjaveden kloridipitoisuuksissa	74
8.6. Tien vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin	76
8.7. Luiskasuojauksen vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin	77
8.8. Geologisen ympäristön vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin	80
8.9. Vedenoton vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin	83
8.10. Usean muuttujan regressioanalyysi	83
8.11. Tieriskirekisterin (TSRR) hyödyntämismahdollisuudet	86
9. TAPAUSTUTKIMUS: UTIN POHJAVESIALUE	87
9.1. Tiesuolaus pohjavesialueella	89
9.2. Geologinen ympäristö	90
9.3. Pohjaveden kloridipitoisuustaso	90
9.4. Pohjavesisuojausten vaikutus	95
10. TAPAUSTUTKIMUS: LOHJANHARJU B:N POHJAVESIALUE	97
10.1. Tiesuolaus pohjavesialueella	98
10.2. Geologinen ympäristö	100
10.3. Pohjaveden kloridipitoisuustaso	100
10.4. Pohjavesisuojausten vaikutus	103
11. JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDESUOSITUKSET	104
11.1. Ensimmäisen Salpausselän alueen pohjaveden kloridipitoisuuksien kehitys	104
11.2. Pohjaveden kloridipitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä	106
11.3. Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten hallinta	107
11.3.1. Tiesuolausmäärän vähentäminen	108
11.3.2. Luiskasuojaukset	108
11.3.3. Vaihtoehtoiset liukkaudentorjunta-aineet	109
12. KIITOKSET	109
13. VIITELUETTELO	111

LIITTEET

LIITE 1. Pohjavesialueiden tiedot

LIITE 2. Havaintopisteiden tiedot

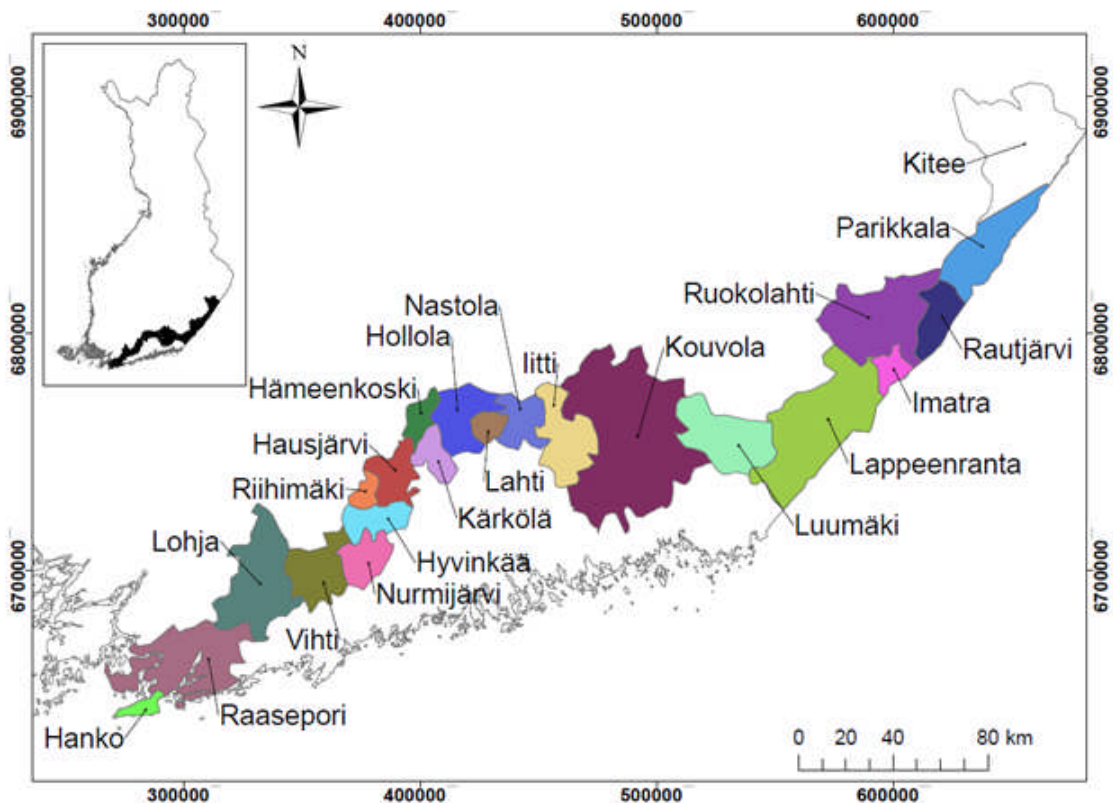
LIITE 3. Tiestötiedot

LIITE 4. Havaintopiste-tieparit

LIITE 5. Kaivot ja vedenottamoiden hanat, joissa kloridipitoisuus on ylittänyt 25 mg l^{-1} vähintään kerran seurantahistorian aikana

1. JOHDANTO

Tutkimuksen tarkoitus on selvittää tiesuolauksesta aiheutuvien kloridipitoisuuksien kehitystä ensimmäisen Salpausselän pohjavesimuodostumissa. Ensimmäinen Salpausselkä on reunamuodostuma, joka sijaitsee 22 kunnan alueella (Kuva 1). Ensimmäisen Salpausselän alueella on lukuisia Suomen merkittävimmistä, I-luokkaan kuuluvista pohjavesiesiintymistä, joiden suojeleminen on tärkeää. Alueella on myös laaja tieverkosto, jossa liikennemäärät ovat suuria.



Kuva 1. Kunnat, joiden alueella ensimmäinen Salpausselkä sijaitsee. Tutkimuksessa näistä kunnista ovat mukana kaikki muut kunnat paitsi Kitee. Hallinnolliset alueet © SYKE 2013.

Tiesuolaus liukkaudentorjunnassa käynnistyi Suomessa 1950-luvulla huipentuen 1980–1990-lukujen taitteeseen. Teiden suolaaminen on tehokas menetelmä estää jään muodostumista tien pinnalle silloin, kun ilman lämpötila on noin -4 – $+2$ °C. Talven lämpötilat vaikuttavat oleellisesti tiesuolauksen tarpeeseen, koska tiesuolaus ei ole enää tehokasta alle -4 °C:een lämpötilassa. (Liikennevirasto 2014a). Ensimmäisellä Salpausselällä tiesuolauksen tarve on suuri, koska lämpötila on useina päivinä vuodessa lähellä 0 °C.

Tiesuolan, pääasiassa natriumkloridin, vaikutukset pohjavesille alkoivat ilmetä pian suolauksen aloittamisen jälkeen 1960-luvulla (Nystén ja Hänninen 1997). Jo 25 mg l^{-1} kloridipitoisuus talousvedessä saattaa aiheuttaa metallisten vesikalusteiden, esimerkiksi kupariputkien, korroosiota (Vesi- ja viemärlaitosyhdistys 2000). 1990-luvun alussa käynnistyi Tielaitoksen (nykyisin osa Liikennevirastoa) Talvi ja tieliikenne - tutkimusprojekti, jonka osana vesi- ja ympäristöhallitus (nykyinen Suomen ympäristökeskus, SYKE) ja Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) selvittivät tiesuolauksen riskejä pohjavesille. Projektin yhteydessä muiden muassa tehtiin tilastollista tarkastelua pohjavesien kloridipitoisuuksien esiintymisestä ja kehityksestä, mallinnettiin suolan kulkeutumismekanismeja ja kehitettiin valtakunnallinen tieriskirekisteri. (Nystén ja Hänninen 1997.) Projektin osana julkaistiin kaksi tutkimusta myös ensimmäisen Salpausselän alueelta (Soveri et al. 1991 ja Nystén et al. 1999). Tämä tutkimus on jatkoa näille kahdelle aiemmalle tutkimukselle.

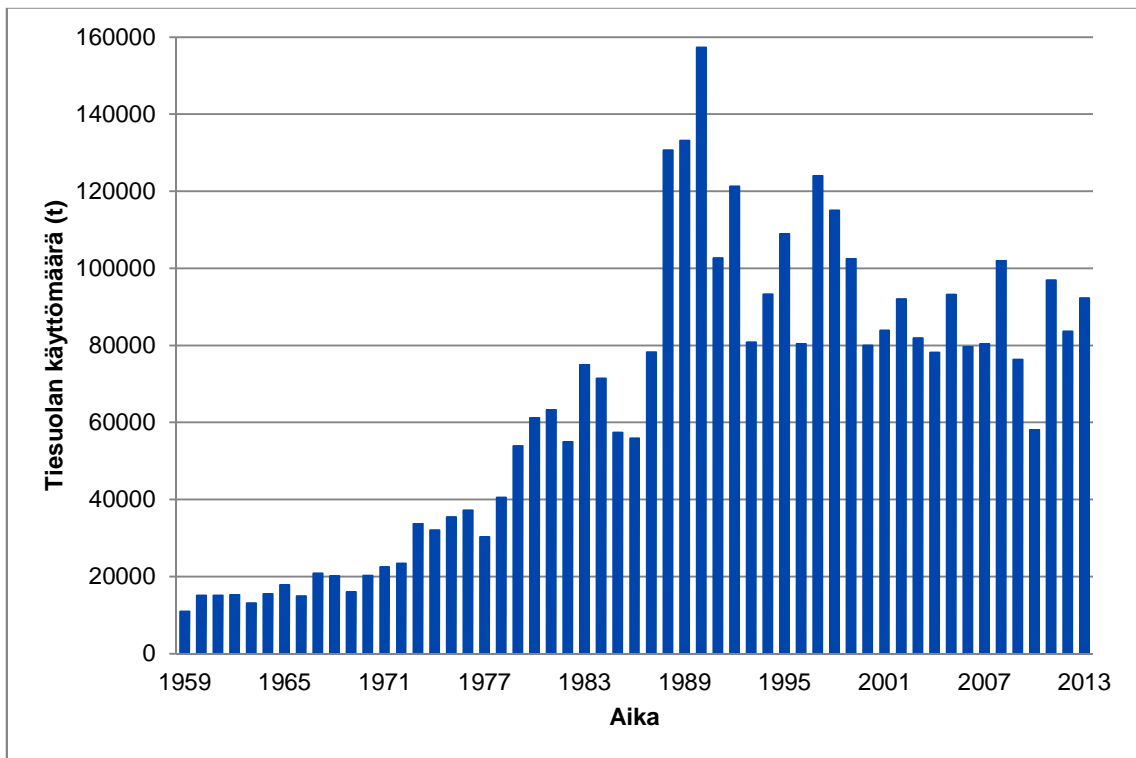
1990-luvulta alkaen tiesuolan käytön riskit on ymmärretty entistä paremmin, ja riskejä on myös pyritty monin tavoin lieventämään. Pohjavesien kloridipitoisuuksien seurantaa on lisätty, tiesuolan levitystekniikkaa kehitetty ja teiden luiskasuojauksia rakennettu tai parannettu. Nysténin et al. (1999) tutkimuksen mukaan ensimmäisen Salpausselän alueella pohjavesien kloridipitoisuudet olivat suojelutoimista huolimatta monin paikoin nousussa 1990-luvun lopussa. Esimerkiksi teiden luiskasuojauksien vaikutusta ei ollut nähtävissä pohjavesien tilassa (Nystén et al. 1999).

Tässä tutkimuksessa selvitetään, minkälaisia ensimmäisen Salpausselän pohjavesien kloridipitoisuustrendit ovat tällä hetkellä, ja onko luiskasuojauksien rakentamisesta ilmennyt toivottua hyötyä pohjavesien laadulle. Lisäksi selvitetään uudemman tiedon valossa, kuinka suolan käyttömäärät ja geologiset olosuhteet vaikuttavat pohjavesien kloridipitoisuuksien kehitykseen. Tutkimuksen aineistona käytetään pohjaveden laadun seurannan analyysituloksia, tilastoja eri vuosien suolan käyttömääristä sekä tietoja pohjavesimuodostumien ominaisuuksista ja rakennetuista luiskasuojauksista. Marraskuussa 2013 Suomen ympäristökeskus julkaisi uudistetun version Tieriskirekisteristä (TSRR), joka on myös ollut tämän tutkimuksen teon ajan hyödynnettävissä ja arvioinnissa. TSRR:n avulla voidaan yksilöidä ne pohjavesialueet, joille tiesuolaus aiheuttaa suurinta riskiä pilaantua. TSRR:n avulla

pohjavedensuojelutoimenpiteet voidaan kohdentaa mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti.

2. SUOLAN KÄYTTÖ LIUKKAUDENTORJUNNASSA

Laaja-alainen teiden suolaus aloitettiin Suomessa 1950-luvulla. Kokonaiskäyttömäärä lisääntyi vuoteen 1990 asti, jolloin suolaa käytettiin yli 150 000 tonnia vuodessa. Tämän jälkeen käyttö on vähentynyt noin 80 000 tonniin vuodessa (Kuva 2). Liukkaudentorjunnassa käytetystä suolasta noin 94 % on natriumkloridia ja 6 % kaliumkloridia.



Kuva 2. Tiesuolan käyttö Suomessa vuosina 1959–2013.

Suolan käyttö laskee veden jäätymispistettä, mikä estää veden jäätymisen ja lumen kiinnittymisen tienpintaan. Suolauksen tarve riippuu sääolosuhteista. Teitä suolataan varsinkin, kun tien lämpötila on noin -4 – $+2$ °C. Teiden kunnossapito ja liukkaudentorjunta kuuluvat Suomessa ELY-keskusten vastualueelle. Liikennevirasto määrittelee teiden hoidon palvelutason. Käytännössä teiden liukkaudentorjunnasta huolehtivat alueurakoitsijat. (Liikennevirasto 2014a).

Tiesuolan kokonaiskäyttömäärät on tilastoitu vuodesta 1959 alkaen. 2000-luvun alkuun asti Suomessa toimi yhdeksän tiepiiriä, ja tiesuolan vuosittaiset käyttömäärät tilastoitiin tiepiireittäin. 2000-luvun alusta lähtien teiden talvihoito on toteutettu urakka-alueina. Nykyisin myös suolausmäärät tilastoidaan urakka-alueiden perusteella, ja suolaustiedot ilmoitetaan talvikauden aikana käytetyn suolan määränä. Esimerkiksi vuoden 2010 kokonaissuolausmäärä tarkoittaa 1.10.2009–30.9.2010 aikana käytetyn suolan määrää. Nykyisin tiesuolan kokonaiskäyttömäärät tilastoidaan Liikenneviraston Aura-tietojärjestelmään.

2.1. Teiden talvihoitoluokat

Suomessa yleiset tiet on jaettu talvihoitoluokkiin (Taulukko 1). Hoitoluokka vaikuttaa siihen, millaisessa kunnossa tie pidetään talvikauden aikana. Esimerkiksi luokkaan Is kuuluva tie on sään muutostilanteita lukuun ottamatta paljas. Hoitoluokkia Is, I, Ib ja II suolataan talvisin. Aura-tietokannan tilastojen mukaan hoitoluokkien I, Ib ja II suolausmäärät ovat kuitenkin huomattavasti vähäisempiä kuin hoitoluokkaan Is kuuluvilla teillä. Osassa hoitoluokan II teillä tiesuolaa ei käytetä lainkaan.

Taulukko 1. Teiden talvihoitoluokat.

Hoitoluokka	Kuvaus
Is	Tie on sään muutostilanteita lukuun ottamatta paljas.
I	Tie on pääosan ajasta paljas.
Ib	Tie on korkeatasoisesti, mutta pääosin ilman suolaa hoidettava tie, osittain polannepintainen.
II	Tien pinta on pääosin polannepintainen. Risteysalueet, mäet ja kaarteet hiekoitetaan niin, että normaali liikkuminen on turvallista.
III	Tiestö on pääosan aikaa polannepintainen ja paikoin voi olla uria.

Eri hoitoluokkaan kuuluvien teiden lukumäärä ja pituus vaihtelevat huomattavasti eri urakka-alueilla. Taulukossa 2 on esitetty ensimmäisen Salpausselän alueen urakka-alueilla sijaitsevien eri hoitoluokan teiden pituudet. Tiesuolan käyttö on runsainta Is-

luokkaan kuuluvilla teillä, joiden pituudet vaikuttavat merkittävästi käytettävän tiesuolan kokonaismääriin.

Taulukko 2. Teiden talvihoitoluokkien ajoratakilometrien pituudet tutkimusalueen urakka-alueilla talvikautena 2013–2014.

Urakka-alue		Ajoradan pituus (km) eri hoitoluokkaan kuuluvilla teillä 1.10.2013–30.9.2014				
		Is	Is	I	Ib	II
		2-ajorataiset	1-ajorataiset			
113	Nummi	59	0	91	36	239
119	Espoo	7	88	65	74	334
124	Raasepori	55	51	119	53	300
125	Lahti	252	53	99	141	125
127	Hyvinkää	114	78	195	212	188
128	Hämeenlinna	108	29	116	143	346
349	Lappeenranta	205	96	108	166	270
350	Imatra	4	46	39	179	211
385	Kouvola	1	110	47	146	264

2.2. Tiesuolauksen vaikutukset pohjaveteen

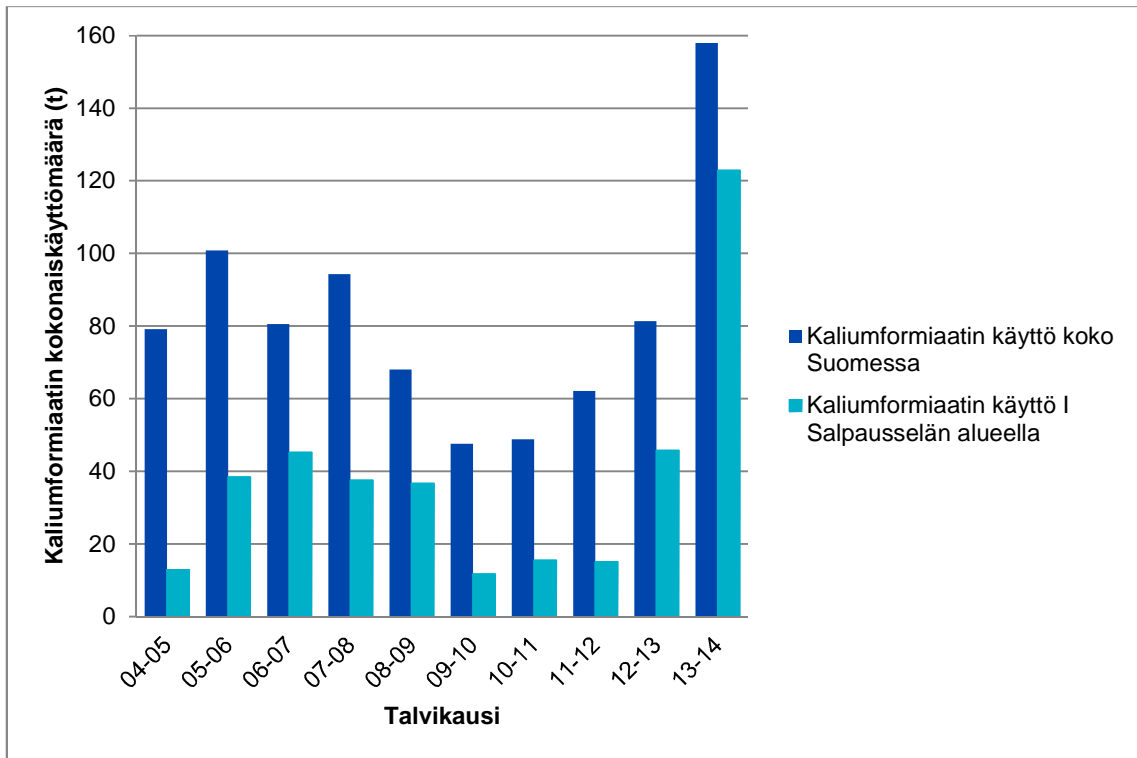
Tiesuolauksen vaikutukset pohjaveteen alkoivat ilmetä pian suolauksen aloittamisen jälkeen 1960-luvulla (Nystén ja Hänninen 1997). Suola liukenee veteen ja voi kulkeutua tieltä ympäristöön. Pohjavesissä tiesuolan vaikutus havaitaan kohonneina kloridipitoisuuksina. Kohonnut kloridipitoisuus heikentää pohjaveden laatua. Jos pohjavettä käytetään talousvetenä, kohonnut kloridipitoisuus voi aiheuttaa metallisten vesikalusteiden korroosiota eli syöpymistä. Suomessa yleiset vähäkalkkiset pohjavedet, joiden alkaliteettiarvo on pieni, voivat aiheuttaa metallisten vesikalusteiden korroosiota kun kloridipitoisuus ylittää 25 mg l^{-1} . Korroosiossa metalleja liukenee veteen, mikä

lyhentää vesikalusteiden käyttöikää ja voi myös huonontaa talousveden laatua. Kloridi aiheuttaa veteen makuhaitan, kun sen pitoisuus on 200–300 mg l⁻¹ (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2000). Kloridi itsessään ei kuitenkaan ole terveydelle haitallista. Tiesuolauksesta aiheutuvia pohjavesiriskejä on pyritty vähentämään varsinkin tärkeillä, I-luokan pohjavesialueilla.

2.3. Tiesuolan haitallisten vaikutusten vähentämiskeinot

Tiesuolauksesta aiheutuvia riskejä pohjavesille voidaan vähentää pääasiassa suolausta vähentämällä, vaihtoehtoisilla liukkaudentorjunta-aineilla ja teiden luiskasuojauksien avulla. Uudellamaalla suoritettiin suolan vähentämiskokeilu vuosina 1999–2003. Koejakson seurannan tulokset olivat myönteisiä: liikenneonnettomuudet eivät lisääntyneet, vaikka suolan määrää laskettiin jopa 40 % keskiarvoisesta. Suolausta vähennettiin pääasiassa valtatiellä 25, joka kulkee ensimmäisen Salpausselän alueella ja on pituudeltaan 142 km. Tien tuntumassa sijaitsee useita vedenottamoita, joista 45:tä seurattiin kokeilun aikana. Kokeilun lopussa kloridipitoisuus oli laskusuuntainen 17 vedenottamolla. Kahdeksalla vedenottamolla kloridipitoisuudet olivat nousussa; 12 vedenottamolla kloridipitoisuus pysyi muuttumattomana. Viidellä vedenottamolla ei ollut riittävästi seurantatietoa trendin määrittämiseen. Kokeilukauden jälkeen tiesuolausta päätettiin vähentää jatkossakin. (Angervuori et al. 2004.)

Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden käyttö on Suomessa toistaiseksi ollut melko vähäistä. Talvikausina 2004–2005 ja 2005–2006 Uudenmaan, Kaakkois-Suomen, Savo-Karjalan ja Vaasan tiepiirit kokeilivat natriumkloridin osittaista korvaamista kaliumformiaatilla, joka on muurahaishapon suola. (Tidenberg et al. 2007.) Ensimmäisen Salpausselän alueella kaliumformiaattia on käytetty Luumäen Taavetin pohjavesialueella sekä Lahden ja Hyvinkään urakka-alueilla (Kuva 3). Kaliumformiaatin käytön kohdealueiden määrä on hitaasti lisääntymässä. Esimerkiksi Lohjanharju B:n pohjavesialueella kaliumformiaattia on käytetty talvikaudesta 2014–2015 alkaen.



Kuva 3. Kaliumformaatin kokonaiskäyttömäärä koko Suomessa sekä ensimmäisen Salpausselän alueella talvikausina 2004–2014.

Tiesuolan kulkeutuminen teiltä pohjavesiin voidaan estää rakentamalla tielle luiskasuojaus. Luiskasuojauksia on rakennettu pohjavesialueilla sijaitseville teille 1980-luvulta alkaen (Hänninen 1995). Lisäksi 1970-luvulla rakennettiin maatiivisteitä, jotka eivät kuitenkaan enää täytä pohjavesisuojausille asetettuja laatuvaatimuksia (Tiehallinto 2004.) Luiskasuojauksien tarkoitus on estää kloridin ja muiden haitallisten aineiden kulkeutuminen tieltä pohjavesiin. Luiskasuojaus rakennetaan tien reunasta ojan vastaluisan yläosaan. Suojusrakenteita on erilaisia, esimerkiksi bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto), bentoniittimaton ja muovin yhdistelmä rakenne sekä tiivistetty maakerros muovikalvolla. Vaativaksi kloridisuojaukseksi kutsutaan joko bentoniittimaan ja muovin tai bentoniittimaton ja muovin yhdistelmä rakennetta (Tiehallinto 2004). Luiskasuojauksen rakentamisen vaikutus havaitaan pohjavesien kloridipitoisuuksissa yleensä vuosien viiveellä. Kloridipitoisuustaso laskee vähitellen, ja luonnontilaisen tason saavuttaminen voi viedä kymmeniä vuosia (Kling et al. 1993). Liikennevirasto on tutkinut luiskasuojauksen toimivuutta osassa kohteissa, joihin on rakennettu vaativa kloridisuojaus. Luiskasuojaukset ovat pääosin osoittautuneet toimiviksi (Liikennevirasto 2014c).

2.4. Liukkaudentorjunta Ruotsissa ja Kanadassa

Teiden suolaus liukkaudentorjunnassa on yleistä maissa, joissa lämpötilat laskevat ajoittain 0 °C:n tuntumaan. Näistä maista Ruotsi ja Kanada ovat pohjavesiolosuhteiltaan eniten Suomen kaltaisia. Ruotsissa tiesuolan pohjavesivaikutuksista on raportoitu muiden muassa julkaisussa Vägsalt – användning och påverkan på grundvattnet (Ojala ja Mellqvist 2004). Raportin perusteella tiesuolauskäytännöt ja tiesuolan pohjavesivaikutukset ovat Ruotsissa vastaavanlaisia kuin Suomessa. Ruotsissa tieverkosto on kuitenkin huomattavasti pidempi (yhteensä 139 000 km vuonna 2006) kuin Suomessa (yhteensä 78 000 km vuonna 2006) (Vägverket 2006 ja Liikennevirasto 2014b). Keskimäärin tiesuolaa käytettiin Ruotsissa 250 000 tonnia vuodessa valtion hoidossa oleville tieosuuksille ja 70 000 tonnia kuntien hoidossa oleville teille 2000-luvun alussa. Suomessa käyttömäärät olivat jonkin verran pienemmät, noin 100 000 tonnia (vuonna 2005) (Tiderberg et al. 2007). Ruotsin tieverkosto on kuitenkin lähes puolet pidempi kuin Suomen.

Suolan pohjavesivaikutuksia havaittiin Ruotsissa 1960-luvulla, jolloin sorateiden pölynsidontasuolaus aiheutti läheisten kaivojen vedenlaadun heikkenemistä. Ruotsissa suolausta on pyritty aktiivisesti vähentämään varsinkin 2000-luvulla. Mallinnusten avulla on määritetty liikenneturvallisuuden kannalta riittävä suolan määrä erilaisissa sääolosuhteissa. Toteutuneita suolamääriä vertaillaan teoreettiseen tarpeeseen niin sanotun suolaindeksin avulla. Jos indeksi on yli 1, suolaa on käytetty tarpeettomasti. 2000-luvun alussa suolamäärät olivat vielä monin paikoin suurempia kuin teoreettinen tarve, joten suolausta on mahdollista vähentää ilman että sillä on vaikutuksia liikenneturvallisuudelle. Ongelmana ovat kuitenkin tärkeät pohjavesialueet, joille tämäkin suolamäärä voi olla liikaa. Näillä alueilla harkitaan vaihtoehtoisia liukkaudentorjuntamenetelmiä, geologisten olosuhteiden tarkempia selvityksiä suunnittelun tueksi ja talvikausien liikenneturvallisuuden takaamista muilla keinoin kuin tiesuolauksella, kuten esimerkiksi nopeusrajoituksia laskemalla. (Ojala ja Mellqvist 2004.)

Kanadassa tiesuolaus aloitettiin 1940-luvun lopulla (Merianon et al. 2009). Ympäristövaikutuksista huolestuttiin kuitenkin vasta 1990-luvun puolivälissä, ja

varsinainen suolan käytön tilastointi aloitettiin vuonna 2005. Vuosina 2005–2009 suolan vuotuinen käyttömäärä oli noin 3 000 000–4 000 000 tonnia. Eniten suolaa käytettiin vuonna 2008 (4 183 000 tonnia). Tiesuolan myyntitilastot osoittavat, että myydyn suolan määrä on noin puolet suurempi kuin tilastoitu käyttömäärä, joten on mahdollista, että myös käyttömäärät ovat olleet suurempia. Tilastojen ulkopuolelle jäävät esimerkiksi yksityistiet. Kanadassa 99 % suolan kokonaismäärästä on natriumkloridia. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kokeiluhankkeita on ollut vuosina 2005 ja 2009. (Environment Canada 2012.) Tiesuolan vaikutuksista pohjavesiin on tehty joitakin tutkimuksia, mutta ne perustuvat melko lyhyisiin aikasarjoihin. Esimerkiksi Merianon et al. (2009) mukaan Ontarion alueella Kaakkois-Kanadassa on valtatie läheisyydestä mitattu jopa yli 1500 mg l⁻¹ kloridipitoisuuksia pintavesistä ja yli 300 mg l⁻¹ pitoisuuksia pohjavesistä. Tutkimusalueella noin 50 % tiesuolasta kulkeutuu pohjaveteen. Tulevaisuudessa tiesuolauksen uskotaan lisääntyvät muiden muassa ilmastomuutoksen vaikutuksesta (Environment Canada 2012).

3. KLORIDIN ESIINTYMINEN POHJAVESISSÄ

3.1. Pohjaveden luonnollinen kloridipitoisuustaso

Kloridin suhteen luonnontilaisina pidetään pohjavesiä, joissa kloridipitoisuus on alle 10 mg l⁻¹ (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2000). Vuonna 1990 tehdyn valtakunnallinen kaivovesitutkimuksen (Korkka-Niemi et al. 1993) perusteella Suomen vedenottokäytössä olevien pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien mediaani on 7 mg l⁻¹. Lahermon et al. (1996) mukaan Etelä-Suomen luonnontilaisten purovesien kloridipitoisuus on vain 1–3 mg l⁻¹. Rannikkoalueilla meren läheisyys vaikuttaa purovesiin voimakkaasti, ja kloridipitoisuudet voivat olla 20–50 mg l⁻¹. Tämän ensimmäisen Salpausselän alueen tutkimusaineiston perusteella myös pohjaveden kloridipitoisuus voi purovesien kloridipitoisuuksien tapaan olla hyvinkin alhainen (alle 5 mg l⁻¹). Valtioneuvoksen asetuksessa (341/2009) pohjavedessä esiintyvän kloridin ympäristölaatunormi on 25 mg l⁻¹.

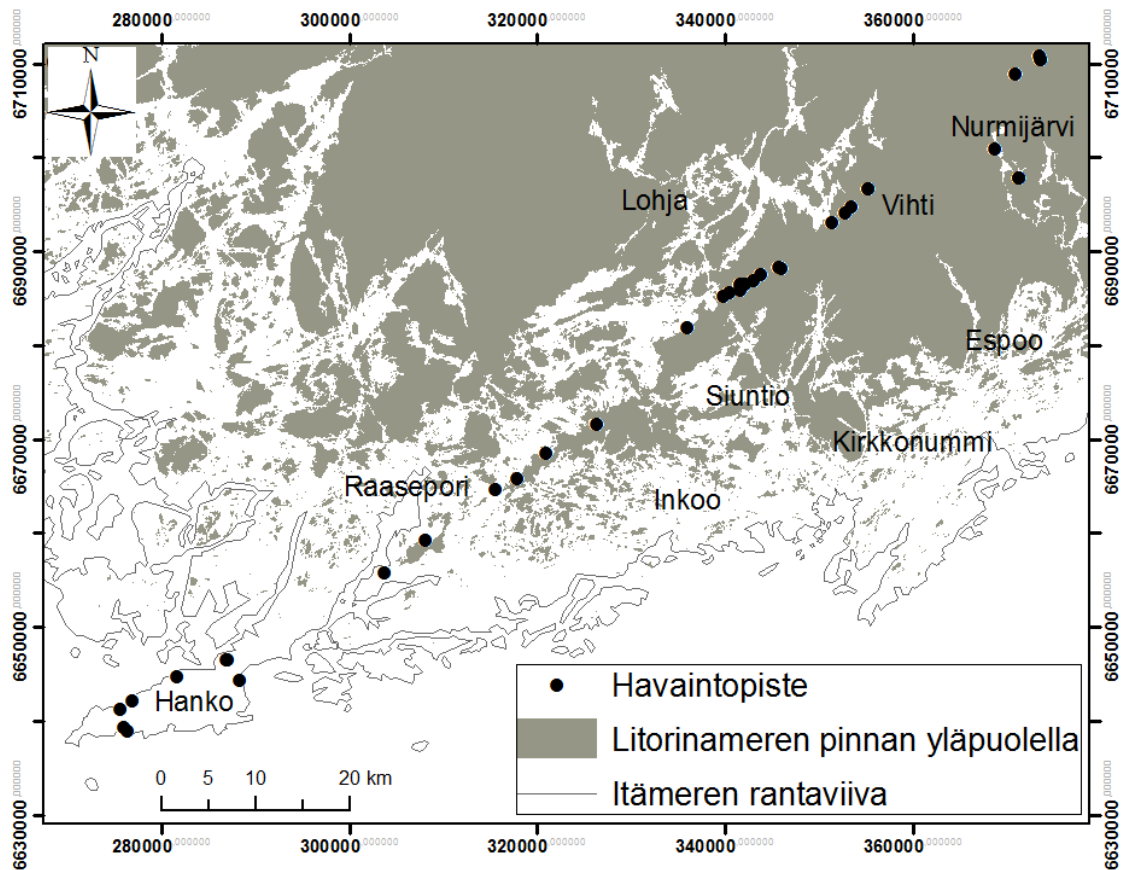
3.2. Kloridipitoisuuden suositusarvo talousvedelle

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (442/2014, 461/2000) mukaan talousveden laatusuositus kloridille on 250 mg l^{-1} vesilaitoksilla, jotka toimittavat vettä vähintään $10 \text{ m}^3 \text{ vrk}^{-1}$ tai vähintään 50 henkilön tarpeisiin. Talousvesi ei kuitenkaan saa olla syövyttävää, ja tämän vuoksi talousveden kloridipitoisuuden tulisi olla alle 25 mg l^{-1} . Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa (401/2001) pienten yksiköiden talousveden kloridipitoisuudelle on asetettu suositusarvo 100 mg l^{-1} . Myös tässä asetuksessa on huomautus, jonka mukaan vesi ei saa olla syövyttävää, joten suositeltu talousveden kloridipitoisuus on alle 25 mg l^{-1} .

3.3. Kloridin alkuperä

Pohjavesissä voi esiintyä kloridia joko luonnollisista tekijöistä tai ihmisen vaikutuksesta johtuen. Luonnollisesti kloridia voi päätyä mantereille merivedestä ilmvirtausten mukana kuivana tai märkänä laskeumana. Rannikkoalueilla merivettä voi myös suoraan imeytyä pohjavesiin. Itämeren läheisyys on ajoittain vaikuttanut Hangossa sijaitsevien vedenottamoiden raakaveteen, sillä merivettä on ajoittain sekoittunut pohjaveteen. Pohjaveden virtausmallinnuksen perusteella tällä alueella muodostuvasta pohjavedestä suurin osa (noin 99 %) on kuitenkin peräisin sadannasta (Luoma 2012). Esimerkiksi Hangon Santalanrannan vedenottamolla meriveden vaikutus on lievästi nostanut pohjaveden sähkönjohtavuusarvoa sekä kloridi- ja natriumpitoisuuksia, mutta arvot eivät ylitä terveysviranomaisten asettamia suositusarvoja. (Backman et al. 2012.)

Itämeren lisäksi pohjaveden kloridipitoisuutta voi lisätä muinaisen Litorinameren vaikutus (Kuva 4). Kloridia voi esiintyä sedimenteissä tai kallioperässä vanhan meriveden jäännössuolana eli reliktisenä suolana, joka voi sekoittua pinta- tai pohjavesiin. (Lahermo et al. 1996.) Jäännössuoloja voi mahdollisesti esiintyä ensimmäisen Salpausselän tutkimusalueella Hangossa, Raaseporissa, Lohjalla, Vihdissä ja Nurmijärvellä.



Kuva 4. Mallinnus muinaisen Litorinameren ylimmästä rannasta. Karttaan on merkitty tämän tutkimusaineiston havaintopisteitä, jotka sijaitsevat muinaisen Litorinameren alueella tai sen ylimmän rantaviivan läheisyydessä. Muinaisrantojen havainnot (10 m resoluutio) © Geologian tutkimuskeskus 2013.

Pohjaveden kloridipitoisuuteen voivat vaikuttaa monet ihmistoiminnasta aiheutuvat tekijät, kuten tiesuolaus, asutus, vedenotto- ja käsittely, maatalous, jätevesivuodot, klooria käyttävä teollisuus, kaatopaikat, lumenkaatopaikat ja suolavarastot. Kloridin ensisijainen ihmistoiminnasta aiheutuva lähde on yleensä kuitenkin tiesuola, joka on pääasiassa natriumkloridia. Teiden suolaukseen liittyen myös suolan varastointi ja pölynsidontasuolaus ovat aiheuttaneet suolapäästöjä ympäristöön. (Nystén et al. 1999, Salminen et al. 2010.)

3.4. Kloridin kulkeutuminen

Kloridi on konservatiivinen ioni. Se ei sitoudu alkuaineisiin tai yhdisteisiin eikä osallistu hapetus-pelkistys-reaktioihin. Kloori kuuluu halogeeneihin, joiden elektronegatiivisuus on suuri, ja siksi se esiintyy aina liukoissa muodossa Cl^- .

halogenidi-ionina. Liukoisuudestaan johtuen kloridi on liikkuvainen. Kloridin geokemiallinen kierto on kuitenkin yksinkertainen. (Lahermo et al. 1996.)

Kloridin esiintyminen, kulkeutuminen ja viipymä pohjavesimuodostumassa riippuu muodostuman geologisista ominaisuuksista, kuten muodostuman koosta ja rakenteista (Nystén ja Hänninen 1997). Pohjavesissä kloridi kulkeutuu advektiossa eli liuenneessa muodossa pohjavesivirtausten mukana, jolloin maaperän ominaisuudet vaikuttavat oleellisesti sen kulkeutumiseen. Tärkein maaperän ominaisuus kloridin kulkeutumisen kannalta on vedenjohtavuus. Sen lisäksi kulkeutumiseen vaikuttavat maaperän tehokas huokoisuus ja hydraulinen gradientti. (Kling et al. 1993.) Suolapulssien etenemistä pohjavesimuodostumassa on mallinnettu esimerkiksi Lappeenrannan Joutsenonkankaan pohjavesialueella, jossa yksittäinen suolapulssi eteni noin 50 m vuodessa (de Coster et al. 1993). Heterogeenisissä pohjavesimuodostumissa kloridin kulkeutuminen voi olla hyvinkin erilaista eri suunnissa ja syvyyksissä. Kloridi voi kulkeutua myös eri suuntaan kuin mikä on pohjaveden päävirtaussuunta. Tätä kutsutaan dispersiiviseksi leviämiseksi. Maaperän kerrosrakenteista johtuen kloridi saattaa levitä laajalti tietyssä kerroksessa, mutta ei välttämättä lainkaan syvyysuunnassa. Veden syvyysuuntainen kulkeutuminen voi olla estynyt esimerkiksi hienoaineskerroksen takia. (Nystén ja Hänninen 1997.)

3.5. Pohjavesien kloridipitoisuuksien seuranta

Varhaisimmat kloridipitoisuuden määitykset liittyvät vedenottamoiden vedenlaadun tarkkailuun. Vanhin tässä tutkimuksessa mukana oleva pohjaveden kloridipitoisuusmittaus on vuodelta 1955. Näyte on otettu Luumäellä Taavetin vedenottamolta. Ennen vuotta 1970 mitattuja tuloksia on aineistossa mukana 24. Ne ovat kaikki vedenottamoilta. Vedenottoalueiden lisäksi kloridiseurantaa on tehty alueilla, joilla on havaittu kohonneita kloridipitoisuuksia.

Tiesuolauksen pohjavesivaikutuksia havaittiin jo 1960-luvulla. Laajemmat tutkimukset julkaistiin kuitenkin vasta 1990-luvun alussa (Soveri et al. 1991). Vuosina 1992–1995 toteutettiin silloisen Tielaitoksen Talvi ja tieliikenne -projekti, jossa tutkittiin pohjavesien kloridipitoisuutta 650 pohjavesialueella yhteistyönä vesi- ja ympäristöhallituksen (nykyisin SYKE) sekä VTT:n kanssa. Tutkimustulosten pohjalta

laadittiin pohjaveden laaduntarkkailun toimenpidesuosituksia. (Nystén ja Hänninen 1994.) 1990-luvun lopulla tehtiin tiesuolauksen riskikartoitusta yli 1100 pohjavesialueella. Riskikartoituksen loppuraportti julkaistiin vuonna 2000 (Gustafsson 2000). Riskikartoituksen pohjalta aloitettiin systemaattinen pohjavesien tilan seuranta. Vuonna 2001 seurantaan valittiin noin 200 havaintopistettä noin 100 pohjavesialueelta eri puolilta Suomea. Näistä havaintopisteistä 50 määriteltiin erityisseurantakohteiksi, joiden kemiallista tilaa alettiin seurata neljä kertaa vuodessa: keväisin, kesäisin, syksyisin ja talvisin. Pohjavesien tilaa seurataan sekä vedenottamoilla että maastoon asennetuista pohjavesiputkista. Jatkuvan seurannan avulla kloridipitoisuustrendien muutokset pyritään havaitsemaan ajoissa, jotta pohjaveden pilaantuminen on mahdollista estää. Seurannan tulokset tallennetaan ympäristöhallinnon ylläpitämään Pohjavesitietojärjestelmään (POVET-rekisteri). (Gustafsson 2003.) Valtakunnallisia tuloksia on edellisen kerran raportoitu julkaisussa Teiden talvikunnossapidon vaikutukset pohjaveteen (Tidenberg et al. 2007).

3.6. Kloridipitoisuus eri vuodenaikoina

Pohjaveden kloridipitoisuudessa saattaa olla havaittavaa vuodenaikaisvaihtelua. Hännisen et al. (1994) mukaan pohjavesien kloridipitoisuudet ovat suurimmillaan kesä-elokuussa ja pienimmillään syksyllä ja talvella. Vuodenaikaisvaihtelua havaitaan selkeimmin pienissä pohjavesimuodostumissa. Syy kloridipitoisuuden vuodenaikaisvaihtelulle liittyy pohjaveden muodostumisajankohtiin. Talvisin pohjavettä ei juuri muodostu, koska maa on roudassa ja sadanta tulee lumena ja jäänä. Keväisin lumen sulaessa pohjaveden muodostuminen on runsasta ja tieltä kulkeutuva suola liikkuu veteen liunneena maaperään ja pohjavesiin. Kevään ja kesän aikana kloridi kulkeutuu pohjavesivirtausten mukana kauemmas tieltä, ja vedenottamoilla ja pohjavesiputkissa voidaan havaita kohonneita kloridipitoisuuksia. Syksyllä pohjavettä voi muodostua syyssateiden aikana runsaastikin, mutta jos teitä ei suolata kesäisin pölynsidonnan vuoksi, kloridipitoisuudet ovat alhaisempia kuin keväällä ja kesällä. Se, mihin ajankohtaan suurimmat kloridipitoisuudet ajoittuvat, on tapauskohtaista, koska kloridin kulkeutuminen tieltä havaintopisteeseen riippuu niiden välisestä matkasta, pohjaveden virtaussuunnista ja -nopeudesta sekä lumen ja roudan sulamisajankohdista. Nysténin ja Hännisen (1997) mukaan kloridinäytteitä tulisi ottaa useita kertoja

vuodessa: keväällä ennen roudan sulamista sekä roudan sulamisen jälkeen, kahdesti kesällä ja syksyllä ennen tiesuolauksen aloittamista.

3.7. Näytteenottosyvyys

Vesinäytteenottosyvyys kloridianalyysia varten voi vaikuttaa kloridipitoisuuksiin. Suolapitoinen vesi on tiheämpää kuin puhdas vesi, joten se voi painua muodostuman syvimpiin altaisiin. Kloridi saattaa myös kulkeutua pohjavesimuodostumassa tietyissä maaperän kerroksissa. Tämä on yleistä glasiofluviaalisissa kerrostumissa, kuten harjuissa ja reunamuodostumissa, joiden muodostumishetkellä jäätikön sulamisvesien virtausnopeudet ovat vaihdelleet ja mahdollistaneet raekooltaan erilaisten kerroksien syntymisen. Hienoaineskerrokset voivat padota suolaisen veden pohjavesimuodostuman yläosiin, jolloin syvältä otetut vesinäytteet eivät paljasta ylempien osien kloridipitoisuutta. (Nystén ja Hänninen 1997.)

Kloridipitoisuuden syvyyssuuntaisen vaihtelun voi määrittää sähkönjohtavuuden kenttämittausten avulla. Jos sähkönjohtavuus vaihtelee, näytteitä tulee ottaa useampia niistä syvyyksistä, joissa sähkönjohtavuus on suurimmillaan. Yleinen suositus on, että näytteitä otettaisiin muodostuman pohjalta, parhaiten vettä johtavasta ydinosasta, ydinosan yläpuolelta sekä läheltä pohjaveden pintaa. Edustavan näytteen edellytys on, että pohjavesiputki on asennettu oikein. (Nystén ja Hänninen 1997.)

3.8. Kloridin poistuminen pohjavesimuodostumasta

Haitta-aineiden, kuten myös kloridin, poistuminen pohjavedestä on hidasta. Puhdistumisnopeuteen vaikuttavat esimerkiksi kloridin kokonaismäärä, muodostuman koko ja vesimäärä sekä veden virtausnopeus. Aiempien mallinnustutkimusten (de Coster et al. 1993, Niemi et al. 1994) ja kloridiseurantojen (Nystén ja Hänninen 1997, Nystén et al. 1999) mukaan pohjaveden kloridipitoisuus voi alkaa laskea, jos suolaus lopetetaan tai suolan pääsy tieltä pohjaveteen estetään täydellisesti. Kloridipitoisuuden vähentyminen luonnolliselle tasolla (alle 10 mg l⁻¹) kestää kuitenkin pienissäkin

pohjavesimuodostumisissa kymmeniä vuosia (Soveri et al. 1991, Nystén ja Hänninen 1997).

Soverin et al. (1991) mukaan tiheämpi suolapitoinen vesi voi alkaa painua ja kertyä pohjavesimuodostuman pohjalle. Painumisen seurauksena osa kloridista ei poistu pohjavesimuodostumasta. Klingin et al. (1993) mallinnustutkimuksessa todetaan, että runsas, yli 20 vuotta jatkunut tiesuolaus voi aiheuttaa suolaisen veden painumista ja kerääntymistä pohjavesimuodostuman pohjalle. Todennäköisyys suolapitoisen veden painumiselle kasvaa, kun pohjavedenpinnan gradientti pienenee. Pohjavedenpinnan gradientti on pieni esimerkiksi vedenjakaja-alueilla. Painumisen riskiä lisää myös maaperän alhainen vedenjohtavuus ja veden suuri kloridipitoisuus.

4. TUTKIMUSALUEEN GEOLOGIA

Tiesuolauksen pohjavesivaikutuksia tarkastellaan tässä tutkimuksessa ensimmäisen Salpausselän alueella. Ensimmäinen Salpausselkä on jäätikön ja sen sulamisvesien synnyttämä reunamuodostuma, joka syntyi Myöhäis-Veikselin nuoremman dryaskauden lopulla noin 12 250–12 050 vuotta sitten (Tschudi 2000, Saarnisto ja Saarinen 2001). Ensimmäinen Salpausselkä kulkee Hangosta Hollolan, Kouvolan ja Lappeenrannan kautta Kiteelle.

4.1. Ensimmäisen Salpausselän synty

Veiksel-jäätiköitymisen lopulla Fennoskandiassa sijaitseva mannerjäätikkö, joka oli hiljalleen sulamassa ja sen reuna perääntymässä kohti keskusaluettaan ilmaston lämpenemisen seurauksena. Ilmaston lämpeneminen kuitenkin pysähtyi noin 12 650 vuotta sitten, ja keskilämpötila laski jopa 10 °C noin tuhannen vuoden ajaksi. Kylmää ajanjaksoa kutsutaan nuoremmaksi dryaskaudeksi. (Saarnisto ja Saarinen 2001.) Syitä ilmaston kylmenemiseen saattoi olla useita, mutta nykytiedon mukaan ilmasto viileni todennäköisesti Pohjois-Atlantin merivirtojen muutosten seurauksena. Muutokset aiheutuivat siitä, että suuria määriä kylmää, makeaa sulamisvettä purkautui mereen Skandinavian mannerjäätikön alta, Pohjois-Amerikan järvistä ja mahdollisesti muista

jääjärvistä. (Lunkka 2008.) Ilmaston viileneminen pysäytti myös jäätikön sulamisen, ja paikoin jäätikkö lähti jälleen etenemään – kymmeniäkin kilometrejä. (Rainio 1985). Ensimmäinen Salpausselkä, kuten myös toinen ja kolmas Salpausselkä, Sisä-Suomen reunamuodostuma sekä Venäjällä Rukajärvi- ja Kalevala-muodostumat ja Kuolan niemimaalla sijaitseva Keiva-muodostuma, syntyivät jäätikön pysähtymisen ja uudelleenetenemisten seurauksena. (Saarnisto et al. 1994.) Ensimmäisen Salpausselän syntyessä jäätikön reuna oli lähes pysähtyneenä noin 200 vuoden ajan, joskin sen asema vaihteli hieman vuodenaikojen ja lämpimämpien ja kylmempien vuosien mukaan. Lähes pysähtyneen jäätikön reunalle kasaantui sulamisvesien kerrostamia deltoja, joissa on pääosin lajittunutta hiekkaa ja soraa sekä jäätikön itsensä kerrostama lajittumattomasta aineksesta koostuva reunamoreeni. (Rainio 1991.)

Mannerjäätikkö perääntyi Suomesta kokonaan noin 10 000 vuotta sitten (Lunkka 2008). Jäätikön kasaamat reunamoreenit ja sulamisvesien kerrostamat deltat jäivät kuitenkin todisteeksi tapahtuneista jäätikön liikkeistä ja vallinneista ilmasto-olosuhteista. Mannerjäätikön reunamuodostumiin on tallentunut geologista tietoa muiden muassa nopeista ilmastomuutoksista. (Mäkinen et al. 2007.)

4.2. Ensimmäisen Salpausselän rakenne

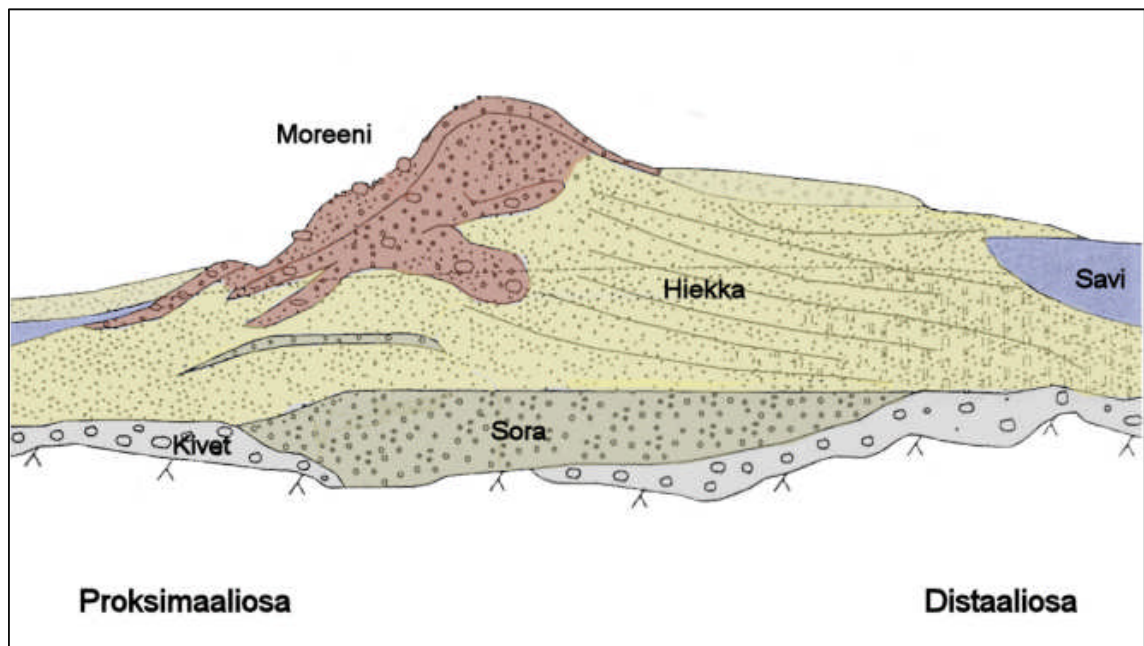
Ensimmäinen Salpausselkä erottuu maastossa noin 1–70 metriä ympäristöään korkeampana selänteinä (Saarnisto et al. 1994). Ensimmäinen Salpausselkä ei ole yhtenäinen muodostuma, vaan se koostuu erillisistä jäätikköjokikerrostumista eli glasiofluviaalisista kerrostumista sekä päätemoreenista (Rainio 1991).

Ensimmäisen Salpausselän muodostuessa alueelliset erot Baltian jääjärven syvyydessä, jäätikön sulamisvesien määrissä, mannerjäätikön pinnan profiilissa ja kallioperän topografiassa vaikuttivat sulamisvesien kulkeutumissysteemeihin. Alueilla, joissa jäätikön sulamisvedet ja sedimentit kulkeutuivat jääjärveen useissa pienemmissä uomissa, kerrostui niin kutsuttuja reunaterasseja (Fyfe 1990, Rainio 1991). Reunaterassit ovat pitkittäisiä, silloisen jään reunan suuntaisia muodostumia, joissa deltoille tyypilliset sedimentin kerrosrakenteet voivat jatkua yhtenäisenä kymmeniä kilometrejä. Reunaterassien leveys on yleensä noin 200–1000 m. Reunaterassien

proksimaaliosassa eli jään puoleisella reunalla esiintyy tyypillisesti jäätikön kerrostamaa reunamoreenia. (Rainio 1991.)

Alueilla, joissa jäätikön sulamisvedet ja sedimenttiaines kulkeutuivat syöttöharjuihin kanavoituneena, muodostui laajempia yksittäisiä reunadeltoja (Gilbert-tyypin deltoja). Reunadeltat kerrostuivat Baltian jääjärveen jäätikköjokien suulle. Ensimmäisellä Salpausselällä monet deltat ovat kehittyneet jääjärven vedenpinnan tasoon asti. Lisäksi alueella esiintyy saldur-deltoja ja sandureita, joissa kerrostumista on tapahtunut myös vedenpinnan yläpuolella. (Fyfe 1990.)

Reunamuodostumissa paksut tasoristikerralliset hiekkakerrokset (deltan foreset) ovat yleisiä. Niiden välissä esiintyy sekä hienoaineskerroksia että sorakerroksia. Reunamuodostumille on tyypillistä, että sedimenttiaineksen raekoko pienenee proksimaaliosasta eli jään puoleiselta reunalta kohti distaaliosaa. Moreenia esiintyy reunamuodostumien proksimaaliosassa ja linsseinä hiekka- ja sorakerroksien välissä. Kiviä ja soraa esiintyy pääasiassa muodostumien proksimaaliosassa syöttöharjujen kohdalla. Reunamuodostumien distaaliosan pintakerrokset ovat usein hienoa hiekkaa (deltan topset) (Kuva 5). (Fyfe 1990.)



Kuva 5. Esimerkki ensimmäisen Salpausselän rakenteesta Niemen et al. (1994) kuvaa mukaillen.

Ensimmäisellä Salpausselällä glasiofluviaalisten kerrostumien paksuus on tyypillisesti 20–30 m. Reunaterassien paksuus voi olla paikoin suurempi, noin 70 m. Jäätikön kerrostamien reunamoreanivallien korkeus on pääasiassa joitakin metrejä tai kymmeniä metrejä. Monin paikoin reunamoreanivallit lähes yhdistävät glasiofluviaaliset kerrostumat toisiinsa. (Rainio 1991.)

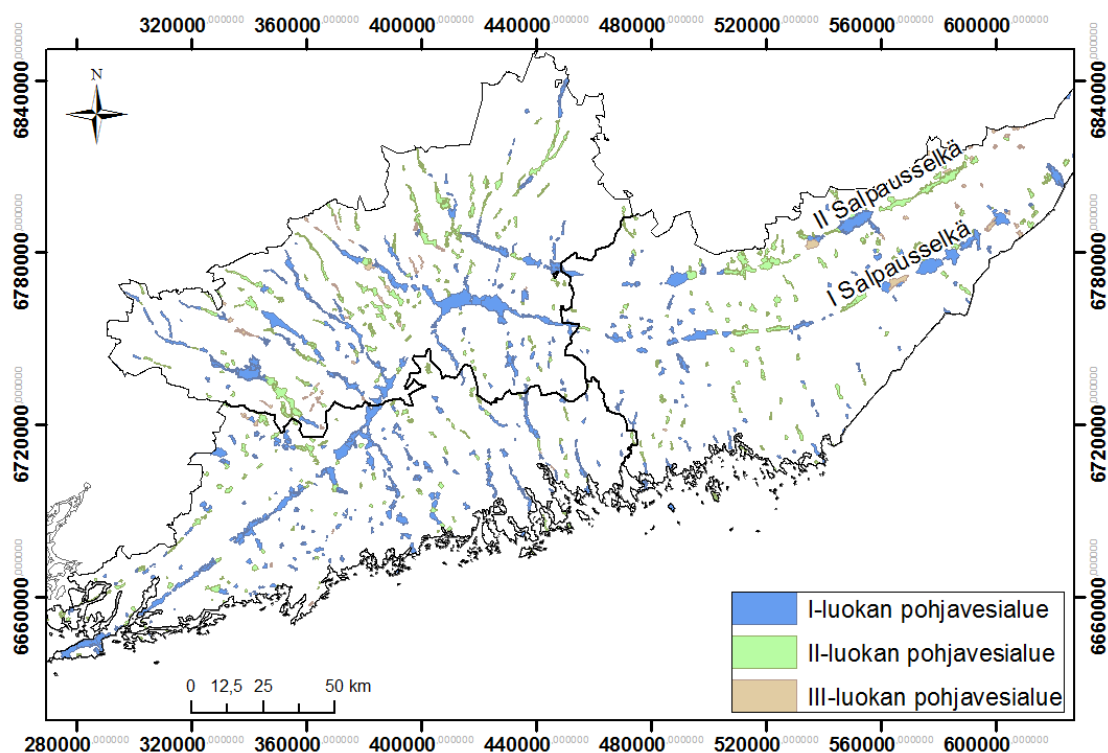
4.3. Ensimmäisen Salpausselän pohjavesivarat

Ensimmäisellä Salpausselällä pohjavesikerroksen paksuus on yleisesti ottaen 10–20 m. Reunamuodostuman pintakerrokset ovat pääasiassa hienoainesta, joten veden imeytymiskerroin on melko alhainen (noin 0,4). Reunaterassien ja reunamoreanien hydraulinen johtavuus on lisäksi heikko (noin 10^{-4} – 10^{-5} m/s). Reunaterasseissa esiintyy moreenilinssejä sekä hienoaineskerroksia, jotka heikentävät paikallisesti pohjaveden muodostumista. Ensimmäisellä Salpausselällä pohjaveden muodostuminen ja varastoituminen on yleisesti ottaen vähäisempää kuin harjuissa. (Mälkki 1999.)

Ensimmäisellä Salpausselällä pohjavesimuodostumia on runsaasti. Joillain alueilla pohjavesikerroksen paksuus ylittää 70 m. Reunamuodostuman pohjavesivarat ovat keskittyneet reunadeltojen jään puoleiselle reunalle, jossa syöttöharjuja liittyy reunamuodostumaan. Harjut voivat jatkua syvälle reunamuodostuman sisälle. Harjuaines on karkeampaa soraa, jossa vedenjohtavuus on hyvä (noin 10^{-2} – 10×10^{-2}). Harjujen ja reunamuodostuman liittymäkohdissa esiintyy lähteitä, joiden antoisuus voi olla yli $10\,000\text{ m}^3\text{ vrk}^{-1}$. Karkeampi lajittunut sedimenttiaines on kerrostunut reunamuodostuman jään puoleiselle reunalle jäätikköjokivirtausten voimistuessa, juuri ennen kuin jäätikkö on lähtenyt perääntymään ensimmäiseltä Salpausselältä. Karkeita lajittuneita sedimenttejä ja niihin liittyviä suuria pohjavesimuodostumia voi esiintyä myös alueilla, joissa nykyisin ei ole havaittavissa syöttöharjua. Nämä sedimentit ovat mannerjään keskiosissa tai pinnalla virranneiden jäätikköjokien päätevirtausten kerrostamia. Harjut kerrostuvat mannerjään pohjalla virtaavista jäätikköjoista (Mälkki 1999.)

Suurin osa ensimmäisellä Salpausselällä sijaitsevista pohjavesialueista kuuluu vedenhankinnan kannalta tärkeimpään eli I-luokkaan (Kuva 6). Alueen pohjavesivarat

ovat talousveden hankinnan kannalta hyviä, sillä pohjavesimuodostumissa pohjavettä on runsaasti ja se on hyvälaatuista. I-luokkaan kuuluvat pohjavesialueet ovat määritelmänsä mukaan alueita, joita hyödyntää tai tulee 20–30 vuoden kuluessa hyödyntämään talousvetenä vähintään 50 ihmistä. Käyttömäärät ovat tai tulevat olemaan suurempia kuin $10 \text{ m}^3 \text{ vrk}^{-1}$. Erityisistä syistä vähemmälläkin käytöllä olevat pohjavesialueet saattavat kuulua I-luokkaan. (Britschgi et al. 2009.) Tutkimuksessa mukana olevilla pohjavesialueilla vettä otetaan talousvesikäyttöön yhteensä noin $103\,000 \text{ m}^3 \text{ vrk}^{-1}$.

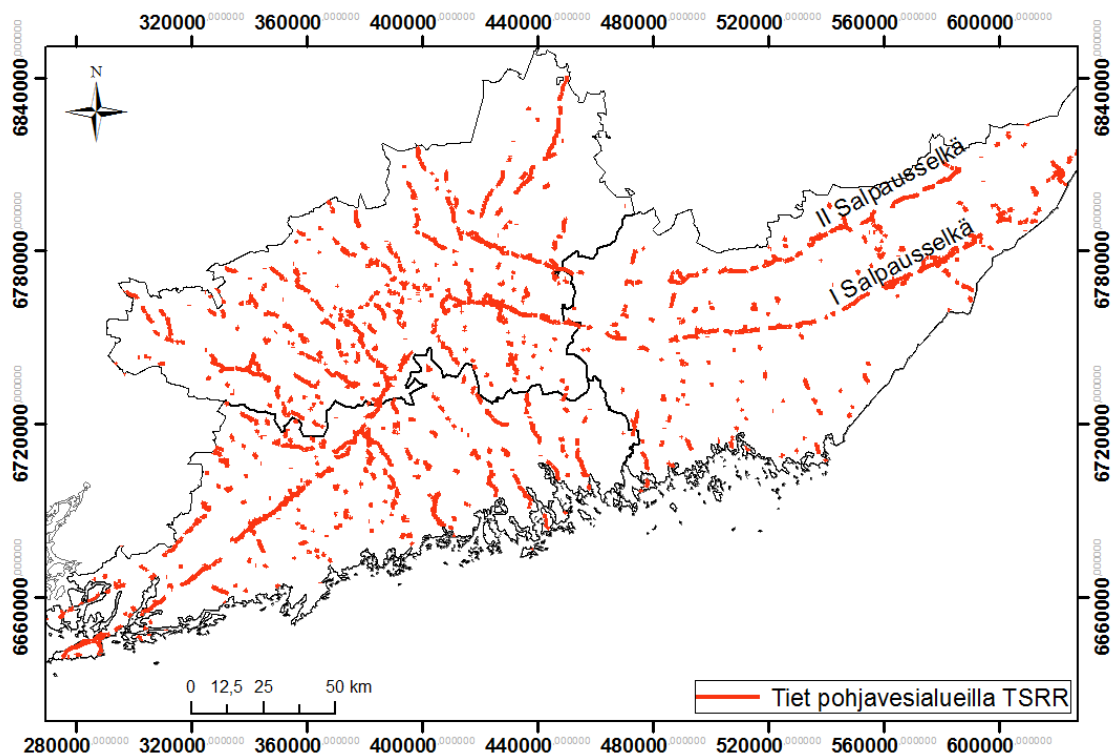


Kuva 6. Pohjavesialueet Uudenmaan, Hämeen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskusten alueella. Ensimmäinen ja toinen Salpausselkä erottuvat pohjavesikartassa pohjavesialueiden melko yhtenäisinä ketjuina. Pohjavesialueet © SYKE 2014.

Ensimmäisellä Salpausselällä on myös II- ja III-luokkaan kuuluvia pohjavesialueita. II-luokkaan kuuluva pohjavesialue on vedenottoon soveltuva alue, joka ei tällä hetkellä kuitenkaan ole vedenottokäytössä. III-luokkaan kuuluvalla pohjavesialueella hyödyntämiskelpoisuuden arviointi vaatii lisäselvityksiä. (Britschgi et al. 2009.)

4.4. Alueen erityisriskit

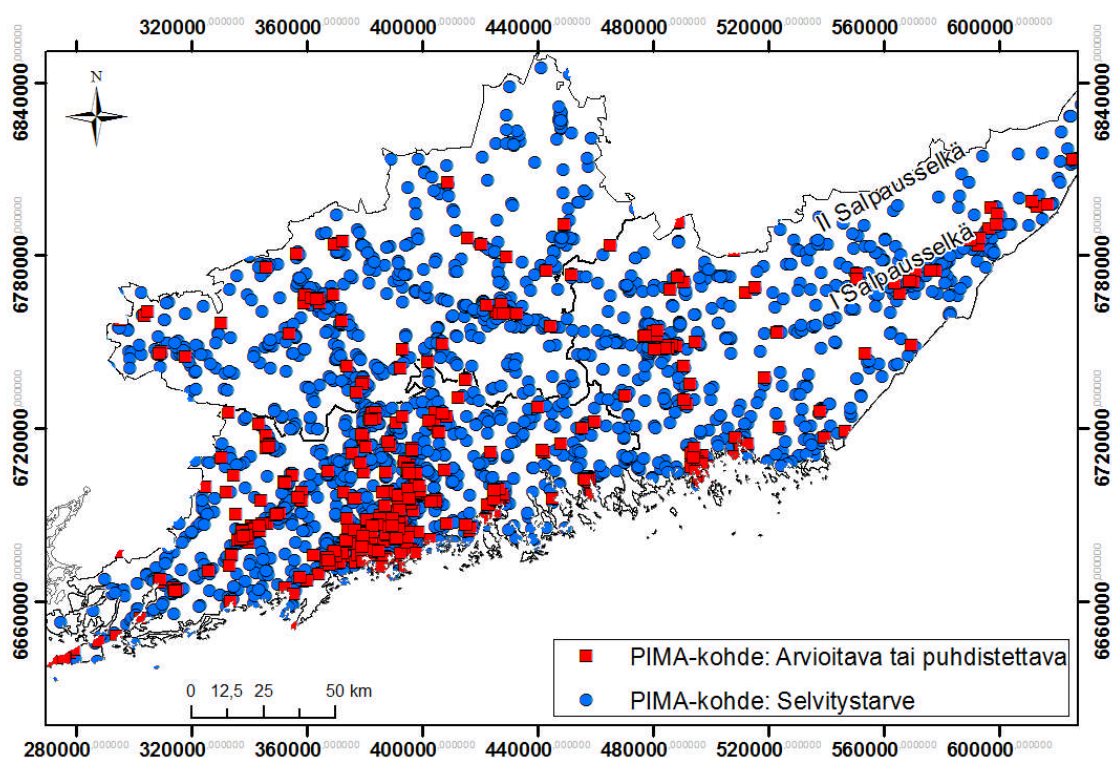
Ensimmäisen Salpausselän pohjavesimuodostumat ovat vaarassa likaantua ihmistoiminnan vaikutuksesta. Teitä, asutusta ja teollisuutta on runsaasti. Tiet on rakennettu monin paikoin reunamuodostumaa tai siihen liittyviä harjuja pitkin, mikä aiheuttaa pohjavesille suuren riskin pilaantua joko tiesuolan tai onnettomuustilanteissa ympäristöön pääsevien muiden haitallisten aineiden vaikutuksesta. Pohjavesialueilla sijaitsevat tiet on esitetty Kuvassa 7. Tutkimusten mukaan sekä teiden läheisyys että sijainti pitkittäisesti pohjaveden muodostumisalueella lisäävät pohjaveden pilaantumisriskiä (Nystén ja Hänninen 1997).



Kuva 7. Pohjavesialueilla sijaitsevat tiet (TSRR-tiet) Uudenmaan, Hämeen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella. Tieriskirekisteri TSRR © SYKE 2013.

Pilaantuneet maa-alueet (PIMA-kohteet) voivat vaikuttaa pohjavesien tilaan. Ensimmäisen Salpausselän alueella sijaitsee paljon vanhoja teollisuusalueita sekä virallisia että epävirallisia kaatopaikkoja. PIMA-kohteita, jotka on määritelty arvioitavaksi tai puhdistettavaksi tai joilla on selvitystarve, esiintyy runsaasti eteläisessä Suomessa ja myös ensimmäisen Salpausselän alueella (Kuva 8). Näissä kohteissa varsinainen toiminnanharjoittaminen on pääsääntöisesti jo päättynyt. Useat PIMA-

kohteet aiheuttavat ympäristöön polttoaine- tai kemikaalipäästöjä, eivätkä ne siten aiheuta pohjaveden kloridipitoisuuksien kasvua. Esimerkiksi teollisuus- ja yhdyskuntakaatopaikat, maan- ja lumenkaatopaikat, jäteveden maahanimeyttäminen, jätevedenkäsittely ja jätevesivuodot voivat kuitenkin tapauksesta riippuen aiheuttaa myös kloridien kulkeutumista pohjavesiin.

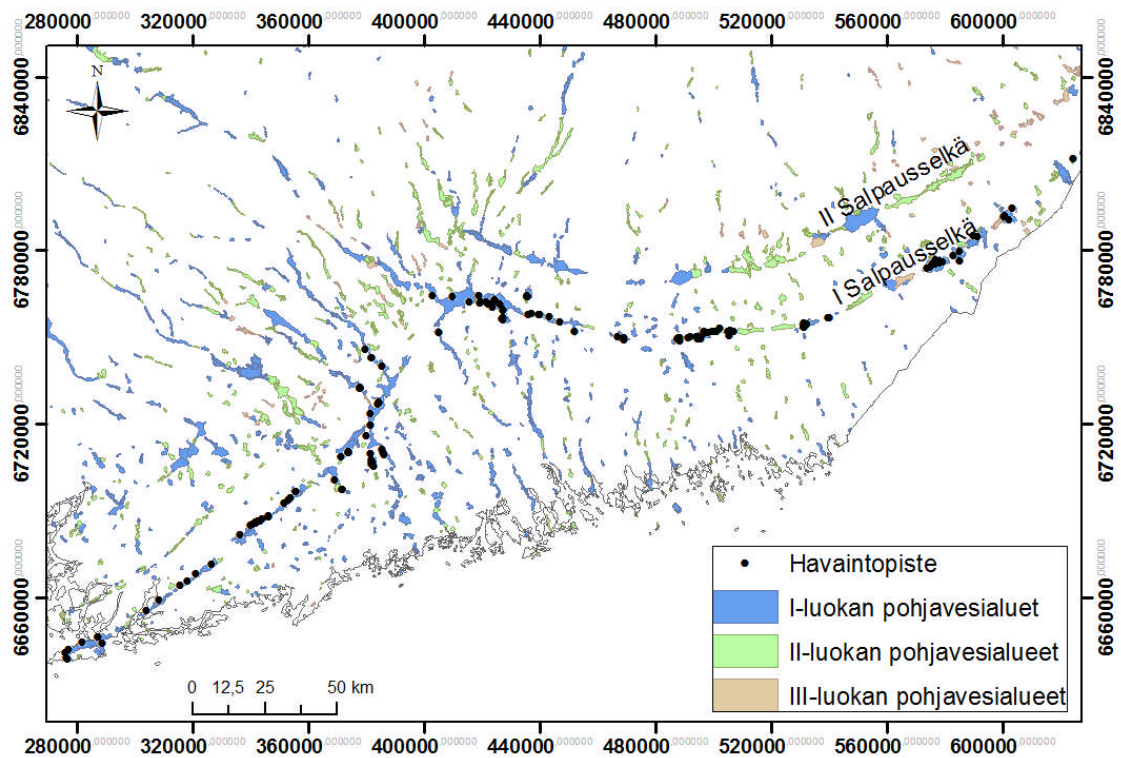


Kuva 8. Pilaantuneet maa-alueet (PIMA-kohteet), jotka on määritelty arvioitavaksi tai puhdistettavaksi tai joilla on selvitystarve Uudenmaan, Hämeen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella. Maaperän tilan tietojärjestelmä © SYKE 2012.

Ensimmäisen Salpausselän pohjavesimuodostumat ovat vedenhankinnan kannalta tärkeitä alueita, ja vedenottomäärät ovat suuria (yli 100 000 m³ vrk⁻¹). Tulevaisuudessa vedenottomäärät saattavat yhä kasvaa. Haitta-aineet, kuten kloridi, poistuvat pohjavesimuodostumista hitaasti, ja ne saattavat vaikeuttaa vedenottoa vielä kymmenienkin vuosien päästä. Kloridi voi myös varastoitua muodostuman painanteisiin muodostaen suolataskuja (Kling et al. 1993). Jos vedenottamoiden tai vedenoton määrät pohjavesialueella muuttuvat, suolataskuihin jäänyt kloridi saattaa lähteä liikkeelle ja huonontaa myöhemminkin veden laatua, vaikka tiesuolausta olisi vähennetty tai suolan kulkeutuminen ympäristöön kokonaan estetty. (Nystén ja Hänninen 1997.)

5. TUTKIMUSAINEISTOT

Teiden sijainti ja niiden talvihoitokäytännöt sekä pohjavesialueiden ominaisuudet vaikuttavat tiesuolauksen pohjavesiriskeihin. Tutkimusta varten on koottu laaja aineisto 47 eri pohjavesialueelta. Havaintopisteitä on yhteensä 178 (Kuva 9).



Kuva 9. Tutkimuksessa mukana olevat 178 havaintopistettä. Pohjavesialueet © SYKE 2014.

Aineiston perusteella pyritään antamaan käsitys ensimmäisen Salpausselän alueen pohjavesien kloridipitoisuuksien kehityksestä, nykytilasta ja niistä pohjavesialueiden ja teiden ominaisuuksista, jotka eniten vaikuttavat kloridipitoisuuksiin. Pohjavesialueita koskevia teknisiä tietoja on koottu Liitteeseen 1, havaintopisteisiin liittyviä tietoja Liitteeseen 2 ja tiestötietoja Liitteeseen 3.

5.1. Pohjavesialueet

Tutkimuksessa on mukana 47 pohjavesialuetta, jotka sijaitsevat joko ensimmäisen Salpausselän reunamuodostumassa tai pitkittäisharjuissa ensimmäisen Salpausselän läheisyydessä. Pohjavesialueiden tekniset tiedot on kerätty POVET-rekisteristä.

Teknisiä tietoja ovat esimerkiksi pohjavesialueluokka (I-, II- tai III-luokka), alueen kemiallinen tila, alueen kokonaispinta-ala, muodostumisalueen pinta-ala, teoreettinen geologinen muodostumatyyppi sekä arviot maaperän imeytymiskertoimesta ja muodostuvan pohjaveden määrästä. Pohjavesialueilla tapahtuvat vedenoton kokonaismäärät on koottu sekä POVET-rekisterin että ELY-keskuksilta saatujen tietojen pohjalta.

5.1.1. Pohjavesialueluokka

Tutkimuksessa mukana olevat pohjavesialueet ovat yhtä lukuun ottamatta I-luokan pohjavesialueita. Änkilän pohjavesialue Rautjärvellä kuuluu II-luokkaan. III-luokan pohjavesialueita ei ole tässä aineistossa mukana lainkaan. Suojelullisesta näkökulmasta katsoen ei ole eroa, mihin pohjavesialueluokkaan alue kuuluu, sillä ympäristönsuojelu- ja vesilaeissa kielletty pohjaveden pilaaminen ja luvaton muuttaminen koskee kaikkea pohjavettä. I- ja II-luokan pohjavesialueiden käytölle ja suojelulle on lisäksi asetettu vaatimuksia terveydensuojelulaissa, maa-aineslaissa, pohjavesidirektiiviin perustuvassa laissa (1299/2004) sekä asetuksessa (1040/2006) vesienhoidon järjestämisestä. Tässä tutkimuksessa pohjavesialueluokka toimii aluetta kuvaavana taustatietona.

5.1.2. Pohjavesialueen kemiallinen tila

Pohjavesialueen kemiallinen tila on määritetty yleisien laatu normien ja riskialueille tehtävien tarkentavien testien tulosten perusteella. Kemiallisen tilan arvioinnissa on huomioitu sekä aineen ja sen pitoisuuden vaikutukset ympäristöön että veden käyttöön talousvetenä. Alueen kemiallinen tila ei välttämättä ole huonontunut kloridipitoisuuksien takia. Kemiallinen tila on hyvä 79 %:lla tässä tutkimuksessa mukana olevista pohjavesialueista. Kymmenellä pohjavesialueella (21 %) kemiallinen tila on huono, ja kahdeksalla näistä alueista kloridi on yksi pääasiallisista tilaa heikentävistä aineista. Kloridin lisäksi pohjaveden kemiallista tilaa näillä pohjavesialueilla heikentävät esimerkiksi liuottimet, torjunta-aineet ja typpi- ja fosforyhdisteet. Kemiallinen tila toimii pohjavesialuetta kuvaavana taustatietona.

5.1.3. Kokonaispinta-ala ja muodostumisalueen pinta-ala

Tutkimuksessa mukana olevien pohjavesialueiden kokonaispinta-ala vaihtelee suuresti. Pinta-alaltaan pienin pohjavesialue on Luumäen Kaunistranta (0,5 km²) ja suurin Hollolan Kukonkoivu-Hatsina (61,1 km²). Pohjavesialueiden keskimääräinen pinta-ala on 11,0 km² ja pinta-alojen mediaani 7,8 km².

Pohjavesialueen pinta-ala on mukana tilastollisessa analyysissä. Aiemmissa tutkimuksissa sen on havaittu selkeästi vaikuttavan kloridipitoisuuksiin (esim. Niemi et al. 1994, Hänninen et al. 1994). Yleisesti ottaen suurilla pohjavesialueilla on alhaisemmat kloridipitoisuudet kuin pienissä muodostumissa suolapitoisuuden laimenemisen seurauksena. Suuret pohjavesimuodostumat palautuvat suolaantumisesta yleensä hitaammin kuin pienet muodostumat, koska veden viipymä muodostumassa on suurempi. (Nystén ja Hänninen 1997.)

Pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala kertoo kokonaispinta-alaa tarkemmin siitä, kuinka suurella alueella uutta pohjavettä voi muodostua. Tutkimuksessa mukana olevien pohjavesialueiden muodostumispinta-alat vaihtelevat 0,34 km²–48,8 km². Muodostumisalueiden pinta-alojen keskiarvo on 7,1 km² ja mediaani 4,0 km². Muodostumisalueen pinta-ala on mukana tilastollisessa analyysissä.

Pinta-alaltaan suuret pohjavesialueet voivat koostua useammasta pohjaveden valuma-alueesta. Tarkkoja valuma-alueetietoja ei kuitenkaan ole saatavilla kaikilta pohjavesialueilta, sillä ne vaativat geologisia rakenneselvityksiä. Pohjavesimuodostumien rajat voivat toistaiseksi perustua puutteelliseen tietoon.

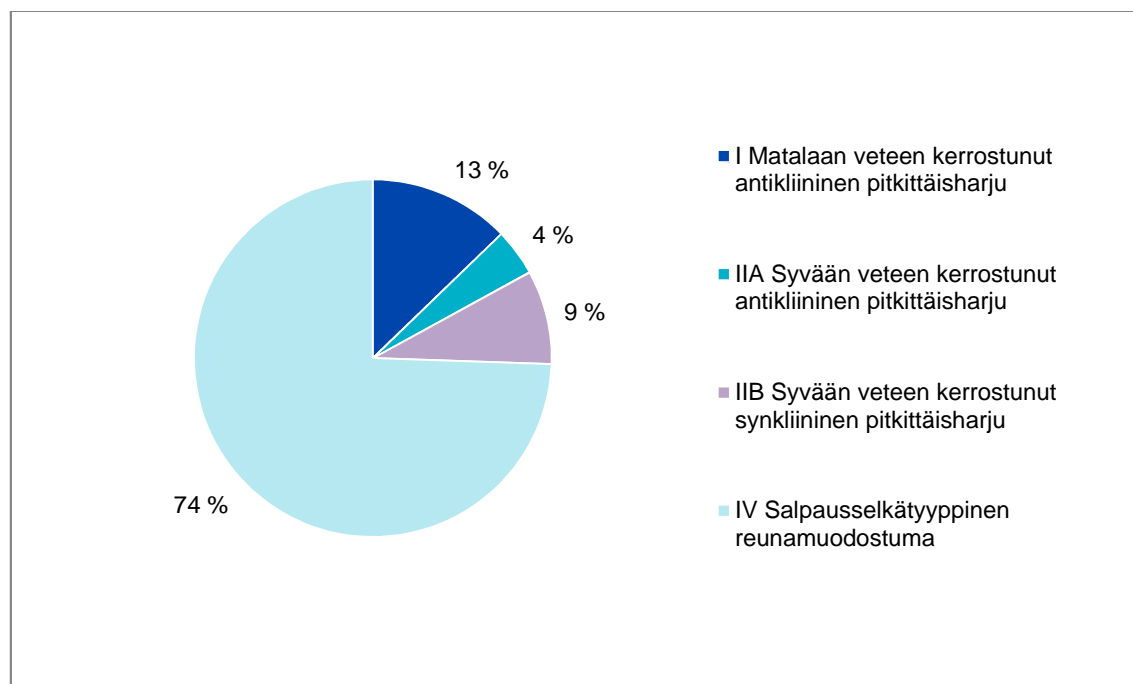
5.1.4. Imeytymiskerroin ja arvio muodostuvan pohjaveden määrästä

Imeytymiskerroin ilmaisee, kuinka suuri osuus sadannasta imeytyy pohjavedeksi. Osa sadannasta haihtuu, osa kulkeutuu pintavaluntana vesistöihin. Tutkimusalueella imeytymiskerroin vaihtelee 0,3–0,6 ja sadannasta imeytyy pohjavedeksi 30–60 %. Arvio muodostuvan pohjaveden määrästä on laskettu imeytymiskertoimen, muodostumisalueen pinta-alan ja vuotuisen sademäärän perusteella. Tutkimusaineiston pohjavesialueilla muodostuvan pohjaveden määrä on 250–45 000 m³ vrk⁻¹.

Imeytymiskerroin ja arvio muodostuvan pohjaveden määrästä ovat mukana tilastollisessa analyysissä.

5.1.5. Teoreettiset geologiset tyyppimuodostumat

Tutkimuksen pohjavesialueet on jaettu geologisiin tyyppimuodostumiin, jotka perustuvat Hännisen et al. (1994) luokitteluun (Kuva 10). Tyyppimuodostumia ovat (I) matalaan veteen kerrostunut ympäristöön vettä purkava pitkittäisharju, (IIA) syvään veteen kerrostunut ympäristöönsä purkava pitkittäisharju, (IIB) syvään veteen kerrostunut ympäristöstään vettä keräävä pitkittäisharju, (III) Pohjanmaan tyyppinen pitkittäisharju, (IV) Salpausselkätyyppinen reunamuodostuma ja (EL) alue, joka ei sovi mihinkään edellä mainituista tyyppimuodostumista. Tutkimusalueella esiintyy luokkiin I, IIA, IIB ja IV kuuluvia pohjavesialueita. Pohjanmaan tyyppisiä pitkittäisharjuja (III) tai alueita, jotka eivät sovi mihinkään tyyppimuodostumaluokkaan (EL) ei esiinny tässä aineistossa. Geologiset tyyppimuodostumat ovat yleistäviä, eikä luonnon muodostumia aina voi luokitella yksiselitteisesti. Suurin osa (74 %) tutkimuksen pohjavesialueista kuuluu luokkaan IV eli pohjavesialue on muodostunut ensimmäisen Salpausselän reunamuodostumaan.



Kuva 10. Tutkimuksessa mukana olevien 47 pohjavesialueen luokittelu teoreettisiin tyyppimuodostumiin Hännisen et al. (1994) mukaan.

5.1.6. Pohjavesialueen antikliinisuus/synkliinisyys

Pohjavesialue voi olla joko ympäristöstään vettä keräävä eli synkliininen tai ympäristöönsä vettä purkava eli antikliininen. Suurin osa (77 %) tutkimusalueen pohjavesialueista on ympäristöönsä vettä purkavia eli antikliinisiä. Synkliinisiä pohjavesialueita on 17 % aineiston pohjavesialueista. Pohjavesialueen antikliinisuutta/synkliinisyyttä ei tunneta 6 % aineiston pohjavesialueista. Aiempien tutkimusten mukaan antikliinisillä muodostumilla on pienempi riski pilaantua kuin synkliinisillä muodostumilla (Hänninen et al. 1994 ja Nystén et al. 1999). Antikliiniset pohjavesimuodostumat täydentyvät ainoastaan sadannasta, mutta synkliiniset muodostumat saavat lisää vettä sadannan lisäksi ympäröiviltä alueilta. Tässä tutkimuksessa tiedot pohjaveden antikliinisuudesta/synkliinisyydestä on kerätty POVET-rekisteristä.

Hännisen et al. (1994) geologisiin tyyppimuodostumaluokkiin sisältyy tieto pohjavesialueen antikliinisuudesta/synkliinisyydestä luokissa I, IIA ja IIB, mutta ei luokissa III ja IV. Hännisen et al. (1994) luokittelu ja POVET-rekisterin tiedot ovat osittain päällekkäisiä, mutta kyse on kuitenkin eri aineistoista. Sekä pohjavesialueen geologiset tyyppimuodostumat että alueiden veden antikliinisuus/synkliinisyys ovat mukana tämän tutkimuksen tilastollisessa analyysissä.

5.1.7. Vedenotto

Tilastollisessa analyysissä on mukana POVET-rekisteristä ja ELY-keskuksilta saatavissa ollut arvio pohjavesialueilla sijaitsevien vedenottamoiden vedenoton keskimääräisistä kokonaismääristä, mutta tiedot ovat osittain puutteellisia. Havaintopisteistä 50 % on joko kaivoja tai vedenottamon hanoja, joista vedenotto on mahdollista. Osa vedenottamoista tai kaivoista saattaa aiemmin olla ollut käytössä. Vedenottomäärien historiatietoja ei kuitenkaan ole tässä tutkimuksessa selvitetty. Tällä hetkellä tutkimuksessa mukana olevilta pohjavesialueilta otetaan vettä tietojen mukaan yhteensä noin $103\,000\text{ m}^3\text{ vrk}^{-1}$. Todellinen luku voi olla tätä jonkin verran suurempi.

5.2. Havaintopisteet

Tutkimuksessa on mukana 178 havaintopistettä 47 pohjavesialueelta. Havaintopisteet sijaitsevat 21 kunnan alueella pääasiassa I luokan pohjavesialueilla (vain Rautjärven Änkilän pohjavesiputki HP2 sijaitsee II luokan pohjavesialueella). Havaintopistekohtaisia tietoja ovat havaintopisteen tyyppi, havaintopisteen kloridianalyysitulokset ja kloridipitoisuuksien havainnointiaika. Kloridianalyysit on tehty pääasiassa vedenottamoiden vedenlaadun tarkkailun yhteydessä. Osa havaintoputkista on asennettu varta vasten tiesuolan pohjavesivaikutusten arviointia varten. Kloridinäytteenottotulokset on kerätty POVET-rekisteristä, ELY-keskuksilta sekä vedenottolaitoksilta.

5.2.1. Havaintopisteiden valintaperusteet

Tutkimuksessa mukana olevat havaintopisteet valittiin edustamaan pohjaveden laatutietojen pitkiä aikasarjoja. Ensisijainen valintaperuste oli se, että sama havaintopiste on ollut mukana aiemmissa ensimmäisen Salpausselän alueen kloridipitoisuustutkimuksissa (Soveri et al. 1991 ja Nystén et al. 1999). Jos tällaisia havaintopisteitä ei ole ollut mahdollista ottaa mukaan, esimerkiksi jos havaintopiste on tuhoutunut tai kloridiseuranta lopetettu, uusia pisteitä on etsitty ensisijaisesti vanhan havaintopaikan lähettäviltä samoilta pohjavesialueilta. Tutkimuksen uusien havaintopisteiden kloridisarjat ovat mahdollisimman pitkiä. Mitä runsaammin analyysyjä on tehty, ja mitä uudempia ne ovat, sitä todennäköisemmin havaintopiste on otettu mukaan tähän tutkimukseen.

5.2.2. Havaintopisteen tyyppi

Tutkimuksen havaintopisteet ovat vedenottamoita, kaivoja, lähteitä tai maastoon asennettuja pohjavesiputkia. Havaintopisteitä on 178, joista 17 on vedenottamon hanoja, 72 on kaivoja, 88 on pohjavesiputkia ja 1 on lähde. Havaintopisteen tyyppi voi epäsuorasti vaikuttaa kloridipitoisuuksiin ja niiden muutoksiin. Pohjavesiputkista mitatut kloridipitoisuudet ovat yleensä paikallisempia kuin vedenottamolta mitatut kloridipitoisuudet. Runsaas vedenotto kerää vettä laajemmalta alueelta.

Havaintopisteissä, joista tapahtuu vedenottoa, kloridipitoisuus on yleensä pienempi kuin sellaisissa havaintopisteissä, joissa vedenottoa ei tapahdu.

5.2.3. Havaintopisteistä määritetyt pohjaveden kloridipitoisuudet

Havaintopisteistä on määritetty yhteensä 5471 kloridipitoisuustulosta. Analyysituloksen kloridipitoisuus vaihtelee koko alueen pohjavesissä 0,4–700 mg l⁻¹. Myös 0 mg l⁻¹ pitoisuuksia on tallennettu, mutta kyse on todennäköisesti analyysimenetelmän mittaustarkkuuden alittavista tuloksista. Eri analyysimenetelmillä on hieman eri mittaustarkkuus. Pieniä, alle 10 mg l⁻¹ kloridipitoisuuksia on analysoitu runsaasti sekä vedenottamoilta että pohjavesiputkista (1978 havaintoa). Suuret, yli 500 mg l⁻¹ kloridipitoisuudet ovat sitä vastoin harvinaisia (5 havaintoa). Suuria pitoisuuksia on mitattu esimerkiksi Kouvolan Utin ja Luumäen Taavetin pohjavesialueilta. Koko aineiston kloridipitoisuuksien keskiarvo on 27,7 mg l⁻¹ ja mediaani 14,0 mg l⁻¹. Talousveden suositusarvo 25 mg l⁻¹ ylittyy 1443 havainnon osalta.

5.2.4. Havainnointiaika

Aineiston 5471 kloridianalyysitulosta on mitattu vuosina 1955–2014. Havaintopistekohtaisten kloridisarjojen pituus ja havaintojen määrä vaihtelevat suuresti. Yleisesti ottaen havintosarjat koostuvat noin 30 näytteestä. Pisimmät sarjat ovat lähes 40 vuotta pitkiä, mutta mukana on myös useita lyhyempiä sarjoja. Sarjat eivät kaikissa tapauksissa ole yhtäjaksoisia, vaan näytteenotossa saattaa olla vuosien pituisia taukoja. Havainnointiajan pituus ja havaintojen oton tiheys ovat olleet yksi merkittävimmistä tekijöistä havaintopisteiden valinnassa. Ajallisesti pitkät sarjat mahdollistavat kloridipitoisuustrendien määrittämisen. Pitkien sarjojen avulla on myös mahdollista tarkastella tiesuolauskäytäntöjen muutosten tai luiskasuojauksen rakentamisen vaikutuksia. Pitkissä sarjoissa on mahdollisesti myös näkyvissä alueen luonnontilanteinen kloridipitoisuus, johon muita analyysituloksia voidaan verrata. Analyysitulokset tallennetaan POVET-rekisteriin viiveellä, joten tutkimuksessa mukana olevat uusimmat tulokset ovat yleisesti ottaen vuosilta 2012–2014.

5.3. Tiet

Ensimmäisen Salpausselän alueella on runsas tieverkosto. Esimerkiksi valtatie 4, 6, 12, ja 25 on rakennettu pääsääntöisesti reunamuodostuman suuntaisiksi. Aiempien tutkimusten mukaan pohjaveden kloridipitoisuuteen vaikuttavat tiesuolan käyttömäärä, havaintopisteen etäisyys tiestä, tien pituus pohjaveden muodostumisalueella sekä se, onko tien ympärille rakennettu luiskasuojauksia (Nystén et al. 1999). Tutkimusalueen laajuuden vuoksi kaikkia alueella sijaitsevia teitä ei ole otettu huomioon aineiston tilastollisessa tarkastelussa, vaan kullekin havaintopisteille on määritetty Tieriskirekisterin (TSRR) tarkasteluperiaatteita noudattaen eniten riskiä aiheuttava tie.

5.3.1. Teiden valintaperusteet

Tutkimusalueelta on valittu 178 havaintopiste-tieparia (Liite 4). Pareja määritettäessä on aiempien tilastollisten tarkastelujen perusteella arvioitu, että havaintopisteen kloridipitoisuuksiin vaikuttaa todennäköisesti eniten sellainen tie, joka on melko lähellä havaintopistettä ja jota suolataan runsaasti (Hänninen et al. 1994, Nystén et al. 1999). Osa suurinta riskiä aiheuttavista teistä on saatu TSRR:ään aiemmin määritellyistä vedenottoalue-tiepareista. Suurinta riskiä aiheuttavan tien määrittäminen on yksiselitteistä, jos pohjavesialueella kulkee vain yksi suolattavia tie. Useissa tapauksissa tien määrittäminen on monimutkaisempaa, kun pohjavesialueella kulkee useita suolattavia teitä tai tieosuuksia, joiden suolauskäytännöt ja suojausmenetelmät ovat erilaisia. Sekä TSRR:ssä että tässä tutkimuksessa havaintopiste-tieparit on pääasiassa määritetty ilman maastotutkimustietoa pohjavesialueen geologisesta rakenteesta tai paikallisista pohjavesivirtausten suunnista. Tämä tiedon puute on voinut aiheuttaa virheellisiä havaintopiste-tieparien valintoja. Pohjaveden virtaussuunnista johtuen havaintopistettä lähin tie ei aina ole suurinta riskiä aiheuttava tie. Todennäköisesti se kuitenkin jossain määrin vaikuttaa havaintopisteen kloridipitoisuuksiin.

Tutkimuksessa on mukana 37 tietä, jotka on jaettu eri tieosuuksiin. Sama tie voi aiheuttaa suurimman riskin useammalle havaintopisteelle, esimerkiksi valtatie 3 aiheuttaa suurimman riskin 12 havaintopisteelle. Havaintopiste-tiepareiksi on käytännössä määritetty havaintopiste-tieosuuspareja, jotta parit vastaisivat mahdollisimman täsmällisesti toisiaan. Yksittäisiä tieosuuksia on yhteensä 75. Samalla

tieosuudella voi kuitenkin olla eri suolauskäytäntö tai suojausmenetelmä eri pohjavesialueilla, joten pieni osa tieosuuksista on jaettu edelleen osiin. Tässä tutkimuksessa havaintopiste-tieosuusparien tarkastelussa erilaisia tieosuuksia on yhteensä 79.

5.3.2. Tien aiheuttama riski pohjavedelle

Uusi päivitetty versio SYKEN ylläpitämästä TSRR:stä julkaistiin marraskuussa 2013. TSRR:ään on yhdistetty ympäristöhallinnon POVET-rekisterin pohjavesitietoja sekä Liikenneviraston Aura-tietojärjestelmän tie- ja suolaustietoja. Osalle POVET-rekisterin havaintopisteistä on luotu TSRR:ssä vedenottoalueen ja tien välinen riskiluku. (SYKE 2013.) Joidenkin havaintopisteiden osalta riskiluku on määritetty useampien teiden suhteen. Riskiluku muodostuu sekä pohjavesialueen että tien ominaisuuksista, joita ovat esimerkiksi pohjavesialueen pinta-ala, tien pituus pohjavesialueella ja tien hoitoluokka. Tiedossa olevien ominaisuuksien pohjalta on määritetty riskiluku, joka on arvoltaan 0–120. Riskiluku on summa eri osatekijöistä, jotka vaikuttavat pohjavesialueen herkkyyteen pilaantua. Mitä suurempi riskiluku on, sitä suuremman teoreettisen riskin tie aiheuttaa vedenottoalueelle. Riskiluvun ollessa yli 65 alueella on tarpeellista tehdä lisäselvityksiä (Yli-Kuivala et al. 1993).

Vedenottoalue-tiepareja on TSRR:ssä toistaiseksi luotu vain sellaisille alueille, joilla tapahtuu vedenottoa. Sen vuoksi kaikkien POVET-havaintopisteiden suhdetta läheisiin teihin ei ole TSRR:ssä määritetty. Parit ovat myös alustavia, koska kaikkia tietoja ei vielä ole saatu vietyä rekisteriin. Tässä tutkimuksessa on hyödynnetty aiemmin TSRR:ssä määritetty pareja. Niissä tapauksissa, joissa havaintopisteelle on TSRR:ssä määritetty useita riskiä aiheuttavia teitä, havaintopisteen pariksi on tässä tutkimuksessa valittu se tie, joka aiheuttaa suurimman riskin. Aiemmin TSRR:ssä määritettyjen parien lisäksi on luotu uusia pareja, niin että jokaisella havaintopisteellä on parinaan yksi suolattava tie, joka olemassa olevan tiedon perusteella vaikuttaa aiheuttavan suurinta riskiä pohjavedelle (Liite 4).

5.3.3. Tiesuolan käyttömäärät

Tutkimusta varten suolaustiedot on koottu urakka-alueiden tiehoitoluokkien tarkkuudella ajanjaksolta 1.10.2004–30.9.2014. Yksittäisten teiden suolausmäärää ei tiedetä, mutta tien hoitoluokka ja tämän hoitoluokan talvikauden kokonaissuolausmäärä tunnetaan kullakin urakka-alueella. Ensimmäinen Salpauselkä jakautuu yhdeksälle eri urakka-alueelle, jotka ovat Raaseporin, Nummen, Espoon, Hyvinkään, Hämeenlinnan, Lahden, Kouvolan, Lappeenrannan ja Imatran urakka-alueet. Hoitoluokkaan pohjautuva suolausmäärä antaa yleisen kuvan teiden suolauskäytännöistä.

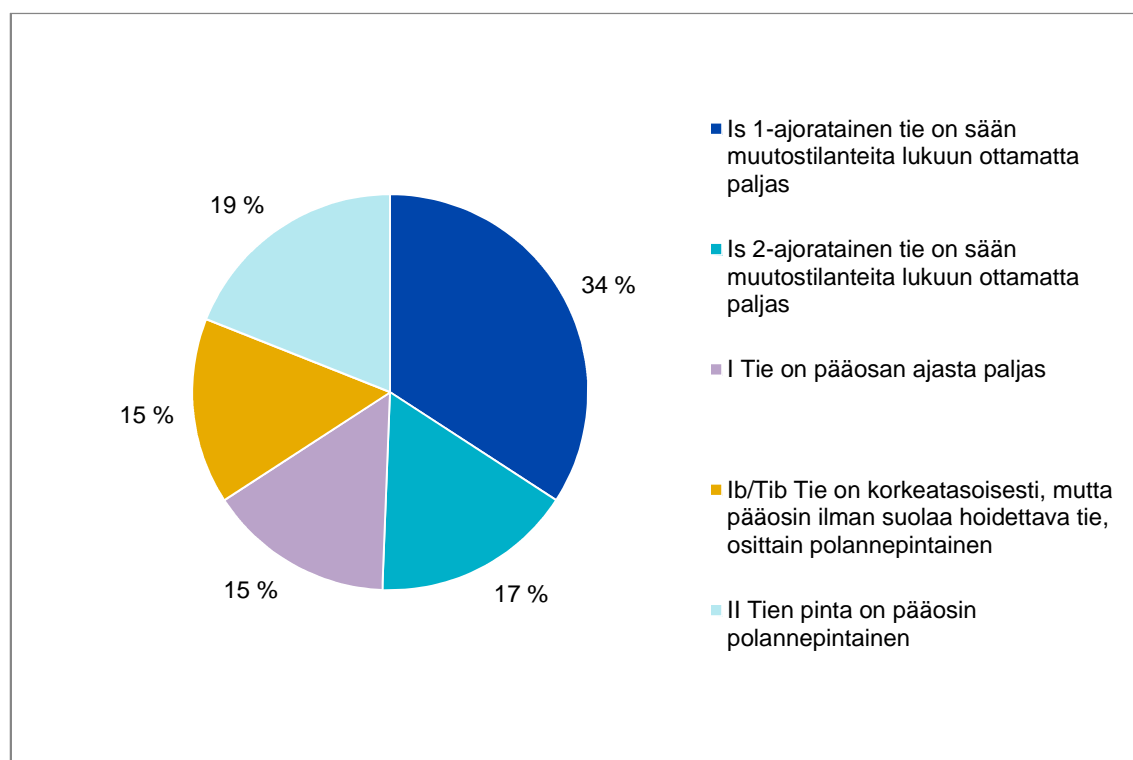
Urakka-alueiden kokonaissuolausmääristä on laskennallisesti määritetty eri hoitoluokkiin kuuluvien teiden keskimääräinen suolausmäärä tonneina kilometriä kohden talvikauden aikana. Taulukossa 3 on esitetty eri hoitoluokkiin kuuluvien teiden keskimääräiset suolausmäärät talvikaudella 2013–2014 tämän tutkimusalueen urakka-alueiden osalta.

Taulukko 3. Tiesuolaus ($t \text{ ajoratak}m^{-1}$) tutkimusalueen urakka-alueiden eri talvihoitoluokan teillä talvikaudella 2013–2014.

Urakka-alue		Hoitoluokanmukainen tiesuolaus ($t \text{ ajoratak}m^{-1}$) 1.10.2013–30.9.2014				
		Is	Is	I	Ib	II
		2-ajorataiset	1-ajorataiset			
113	Nummi	26,28	9,20	7,87	1,62	0,18
119	Espoo	6,07	5,30	2,97	0,68	0,80
124	Raasepori	2,61	3,71	5,00	4,21	0,37
125	Lahti	3,00	9,19	9,68	1,23	0,00
127	Hyvinkää	3,73	3,88	3,74	2,81	0,03
128	Hämeenlinna	4,27	12,84	4,21	0,14	0,04
349	Lappeenranta	6,47	7,25	4,04	1,03	0,00
350	Imatra	6,17	0,00	4,47	4,97	0,00
385	Kouvola	3,57	7,75	7,04	6,97	0,00

5.3.4. Tieosuuden talvihoitoluokka ja hoitoluokan muutokset

Teiden talvihoitoluokat on koottu TSRR:stä. Tiedot ovat talvikaudelta 2012–2013. Tutkimusaineiston 79 tieosuudesta yli puolet (51 %) kuuluu Is-hoitoluokkaan (Kuva 11). Havaintopisteistä 67 %:lle suurinta riskiä aiheuttaa Is-hoitoluokkaan kuuluva tieosuus.



Kuva 11. Eri talvihoitoluokkien yleisyys tutkimuksen 79:llä eri tieosuudella talvikaudella 2012–2013.

Tutkimuksessa on mukana suolaustietoja noin kymmenen vuoden takaa. Tässä ajassa teiden hoitoluokat ovat saattaneet muuttua. Liikenneviraston Aura-tietojärjestelmässä ei kuitenkaan ole tietoja hoitoluokkien muutoksista. Vuonna 2009 teiden talvihoitoa tehostettiin siten, että hoitoluokanmukainen kunnossapitotaso vaaditaan myös yöaikaan. Vaikka hoitoluokat eivät varsinaisesti ole muuttuneet, vuoden 2009 jälkeen suolan käyttötarve on voinut lisääntyä. Aura-tietojärjestelmän tietojen perusteella valtakunnallisen tiesuolauksen viiden vuoden keskiarvojen perusteella tiesuolausmäärien keskiarvo on kuitenkin pienentynyt hoitoluokissa Is, I, ja Ib vuoden 2009 jälkeen.

5.3.5. Tieosuuden sijainti ja pituus pohjaveden muodostumisalueella

Tien sijaintia pohjavesialueella on pidetty aiemmissa tutkimuksissa merkittävänä selittävänä tekijänä kloridipitoisuuksille. Yleensä tiet on luokiteltu siten, että ne joko 1) sivuavat muodostumisaluetta tai kulkevat alueen reunalla, 2) kulkevat muodostumisalueella poikittaisesti tai 3) kulkevat muodostumisalueella pitkittäisesti (Hänninen et al. 1994, Nystén ja Hänninen 1997). Pohjavesialueet, joilla tie kulkee pitkittäisesti, ovat suurimmassa vaarassa pilaantua. Hännisen et al. (1994) mukaan tällaisilla pohjavesialueilla esiintyy myös suurempia kloridipitoisuuksia kuin muualla. Tässä tutkimusaineistossa 32 pohjavesialueella tie kulkee pitkittäisesti pohjaveden muodostumisalueella. Pohjavesialueista 10:llä tie kulkee poikittaisesti ja 5:llä tie ainoastaan sivuaa aluetta.

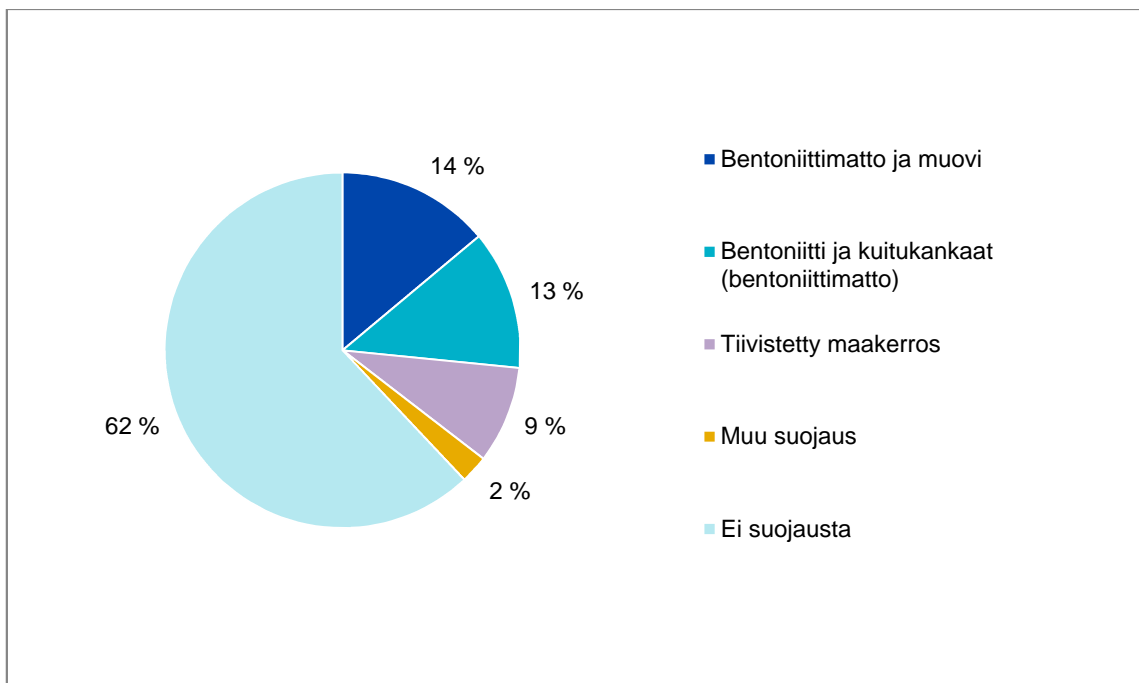
Pohjavesialueiden muodostumisalueilla sijaitsevien yksittäisten tieosuuksien pituudet ovat 0,1–6,6 km. Keskimääräinen tieosan pituus pohjaveden muodostumisalueella on 1,9 km. Tieosien pituuksien mediaani on 1,3 km. Tieosuuden sijainti ja pituus pohjaveden muodostumisalueella ovat mukana tilastollisissa analyysissä.

5.3.6. Havaintopiste-tieparien välinen etäisyys

Tien ja havaintopisteen etäisyys voi Hännisen et al. (1994) ja Nysténin et al. (1999) tutkimusten mukaan vaikuttaa pohjaveden kloridipitoisuuksiin. Kloridipitoisella vedellä on aina viipymää maaperään imeytymisessä ja virtauksessa, ennen kuin vesi leviää kauemmaksi tiestä. Se, mihin suuntaan kloridipitoinen vesi kulkeutuu, riippuu pohjavesialueen pää- ja paikallisista virtaussuunnista, muodostuman kerrosrakenteista ja mahdollisista esteistä kuten kalliokynnyksistä. Hännisen et al. (1994) mukaan veden päävirtaussuunnasta riippumatta pohjavesialueen suurimmat kloridipitoisuudet mitataan yleensä niiltä vedenottamoilta, jotka ovat lähellä tietä. Tässä tutkimusaineistossa havaintopisteiden ja teiden väliset etäisyydet ovat 13–3274 m. Havaintopisteen ja tien välinen etäisyys on keskimäärin 523 m. Etäisyyksien mediaani on 218 m. Aineiston havaintopisteistä 27 % sijaitsee tien välittömässä läheisyydessä alle 50 m päässä. Havaintopisteen etäisyys tiehen on huomioitu tilastollisissa analyysissä pohjaveden kloridipitoisuuksia selittävänä tekijänä.

5.3.7. Tien pohjavesisuojaukset

Teiden luiskasuojauksien tarkoitus on estää kloridin ja muiden haitallisten aineiden kulkeutuminen tieltä pohjavesiin. Suomessa ensimmäiset luiskasuojaukset rakennettiin 1970-luvulla (Hänninen 1995). 1990-luvun lopulla luiskasuojauksien rakentamisen hyötyjä ei vielä juurikaan ollut havaittavissa ensimmäisen Salpausselän alueen pohjavesien tilassa (Nystén et al. 1999). Suojausmenetelmiä on useita, esimerkiksi bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto), bentoniittimaton ja muovin yhdistelmä rakenne sekä tiivistetty maakerros muovikalvolla tai ilman. Vaativaksi kloridisuojaukseksi kutsutaan joko bentoniittimaan ja muovin tai bentoniittimaton ja muovin yhdistelmä rakennetta (Tiehallinto 2004). Eri luiskasuojausmenetelmien yleisyys tutkimusaineiston tieosuuksilla on esitetty Kuvassa 12.



Kuva 12. Eri luiskasuojausmenetelmien yleisyys tutkimusaineiston 79 tieosuudella.

Havaintopisteen ja sille suurinta riskiä aiheuttavan tien välillä on jonkinlainen suojaus 55 % tämän aineiston tapauksista. 45 %:lla tapauksista tien ja havaintopisteen välissä ei ole suojausta. Pohjaveden päävirtaussuunta ei välttämättä ole tieltä havaintopisteelle päin, joten suojauksen puuttuminen ei automaattisesti tarkoita, että tiesuola aiheuttaisi pohjaveden kloridipitoisuuden nousua havaintopisteessä. Suojausrakenteiden toimivuudessa on eroja, eikä tiivistettyä maakerrosta enää pidetä luotettavana

suojausrakenteena. Havaintopisteen ja sille suurinta riskiä aiheuttavan tien välillä on bentoniittimaton ja muovin yhdistelmä rakenne tai bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto) 42 %:ssa tapauksista. Nämä havaintopiste-tieparit sijoittuvat 15 eri pohjavesialueelle.

6. TILASTOLLISET TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1. Tilastolliset tunnusluvut

Tutkimusalueen pohjavesien kloridipitoisuuksista lasketaan tilastollisia tunnuslukuja eri ajanjaksoina ja erilaisiin luokkiin ryhmiteltyinä. Tilastolliset tunnusluvut, kuten kloridipitoisuuden keskiarvo, mediaani ja kvartiilit, mahdollistavat kloridipitoisuuksien kehityksen ymmärtämisen ja esimerkiksi suolauskäytäntöerojen vaikutuksen havaitsemisen suuressa aineistossa.

6.2. Trendianalyysi

Parhaimman kuvan havaintopisteen kloridipitoisuuden kehityksestä saa tutkimalla analyysitulosten trendiä eli pitoisuuksien kehitystä ajassa. Trendissä kausi- ja satunnaisvaihtelu eivät näy yhtä voimakkaasti kuin yksittäisten arvojen tapauksessa, joten kehityksen suunta on helpommin tulkittavissa. Trendejä voi tarkastella koko seurantajakson tai lyhyempien ajanjaksojen ajalta.

6.3. Regressioanalyysi

Regressioanalyysiä käytetään selvittämään tilastollinen yhteys selitettävän muuttujan ja selittävien muuttujien välillä (Laininen 2007). Selitettävä muuttuja on tässä yhteydessä ensimmäisen Salpausselän alueen pohjavesien kloridipitoisuus, jota useampikin tekijä saattaa selittää. Lähtökohtaisena oletuksena on, että tiesuolan käyttömäärä vaikuttaa suoraan pohjaveden kloridipitoisuuteen, jos suolattava tie sijaitsee pohjaveden

muodostumisalueella. Regressioanalyysin avulla selvitetään, kuinka suuri vaikutus suolamäärillä, tien läheisyydellä, vallitsevilla geologisilla olosuhteilla ja teiden luiskasuojauksilla on alueen pohjavesien kloridipitoisuuksiin.

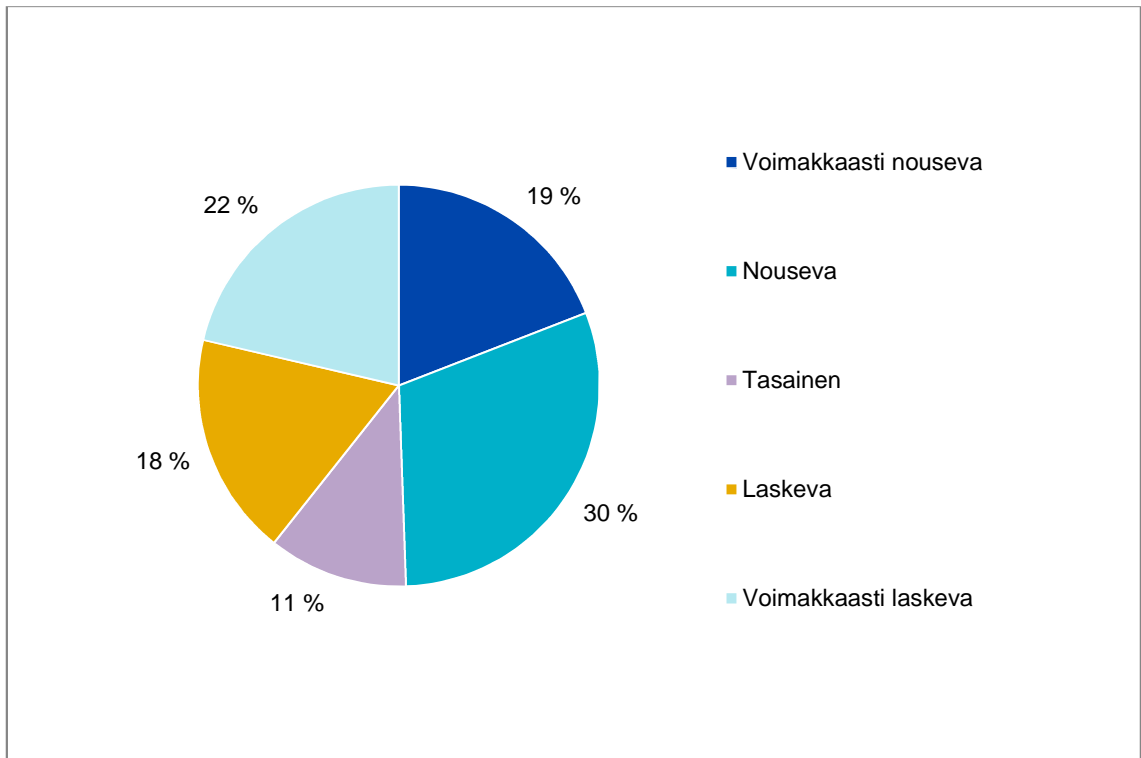
7. TUTKIMUSTULOKSET

7.1. Kloridipitoisuustrendit koko seurantahistorian ajalta

Pohjaveden kloridipitoisuuden vaihtelu voi olla suurta eri vuosina ja vuodenaikoina. Trendin avulla vaihtelevastakin aineistosta voidaan saada yleiskäsitys siitä, mihin suuntaan pitoisuudet ovat kehittyneet. Kloridipitoisuustrendi on määritetty erikseen jokaiselle havaintopisteelle. Havaintopistekohtaiset tiedot seuranta-ajoista, analyysitulosten määristä ja tilastollisista tunnusluvuista on koottu Liitteeseen 2.

Kuvassa 13 on esitetty yhteenveto havaintopisteiden kloridipitoisuustrendeistä koko seurantahistorian ajalta. Tulkinta perustuu kloridipitoisuusluokkiin, jotka ovat 0–9,9 mg l⁻¹, 10–24,9 mg l⁻¹, 25–49,9 mg l⁻¹, 50–99,9 mg l⁻¹ ja >100 mg l⁻¹. Voimakkaasti nouseva/voimakkaasti laskeva trendi tarkoittaa kloridipitoisuuden nousua/laskua yhtä tai useampaa suurempaan/pienempään pitoisuusluokkaan. Nouseva/laskeva trendi tarkoittaa kloridipitoisuuden nousua/laskua saman pitoisuusluokan sisällä. Tasainen trendi tarkoittaa, ettei kloridipitoisuus ole merkittävästi noussut eikä laskenut seurantahistorian aikana. Tällöin trendikäyrän kulmakerroin on alle 0,05.

Aineiston perusteella 49 % havaintopisteistä kloridipitoisuustrendi on nouseva tai voimakkaasti nouseva tarkasteltaessa koko seurantahistoriaa. Havaintopisteistä 40 %:ssa kloridipitoisuustrendi on laskeva tai voimakkaasti laskeva. Havaintopisteistä 11 %:ssa kloridipitoisuus ei ole havaittavasti muuttunut tarkasteltaessa koko seurantahistoriaa.

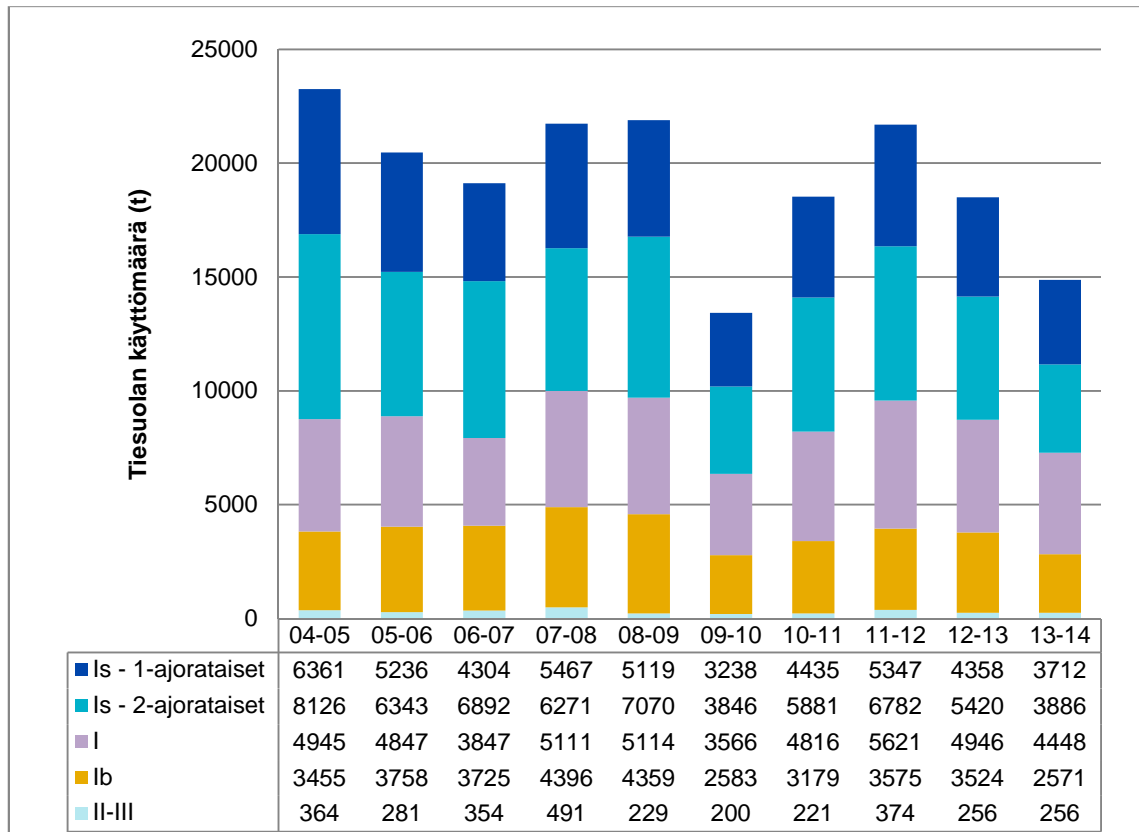


Kuva 13. Havaintopisteiden kloridipitoisuustrendit koko seurantahistorian ajalta. Havaintopisteitä on yhteensä 178.

7.2. Tiesuolausmäärän vaikutus kloridipitoisuuksiin

Ensimmäinen Salpausselkä jakautuu yhdeksälle eri tienhoidon urakka-alueelle. Urakka-alueet ovat Raaseporin, Nummen, Espoon, Hyvinkään, Hämeenlinnan, Lahden, Kouvolan, Lappeenrannan ja Imatran urakka-alueet. Tiekohtaisia suolausmääriä tutkimusalueella ei tiedetä, mutta tien hoitoluokka ja tämän hoitoluokan talvikauden kokonaissuolausmäärä tunnetaan kullakin urakka-alueella (Kuva 14).

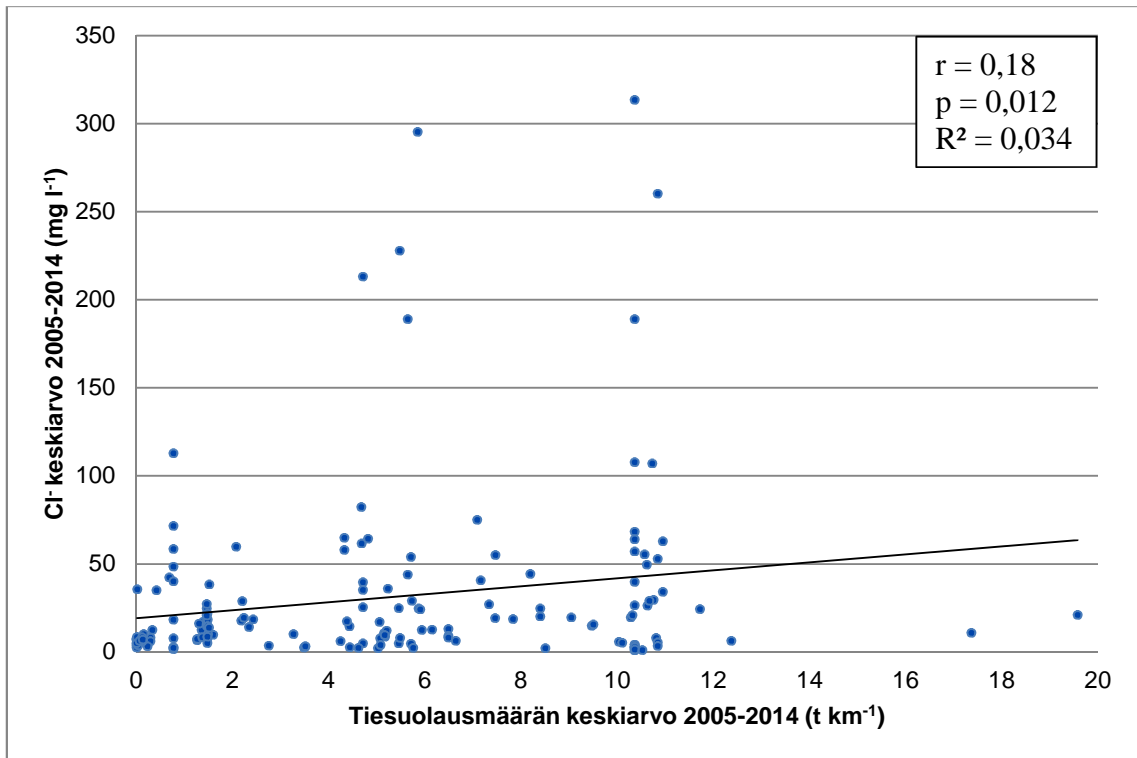
Hoitoluokkaan pohjautuva suolausmäärä antaa yleisen kuvan teiden suolauskäytännöistä. Suolausmäärä vaihtelee suuresti eri hoitoluokkaan kuuluvien teiden välillä. Suurinta riskiä pohjavesille aiheuttavat talvihoitoluokkiin Is ja I kuuluvat tiet, joita suolataan runsaimmin.



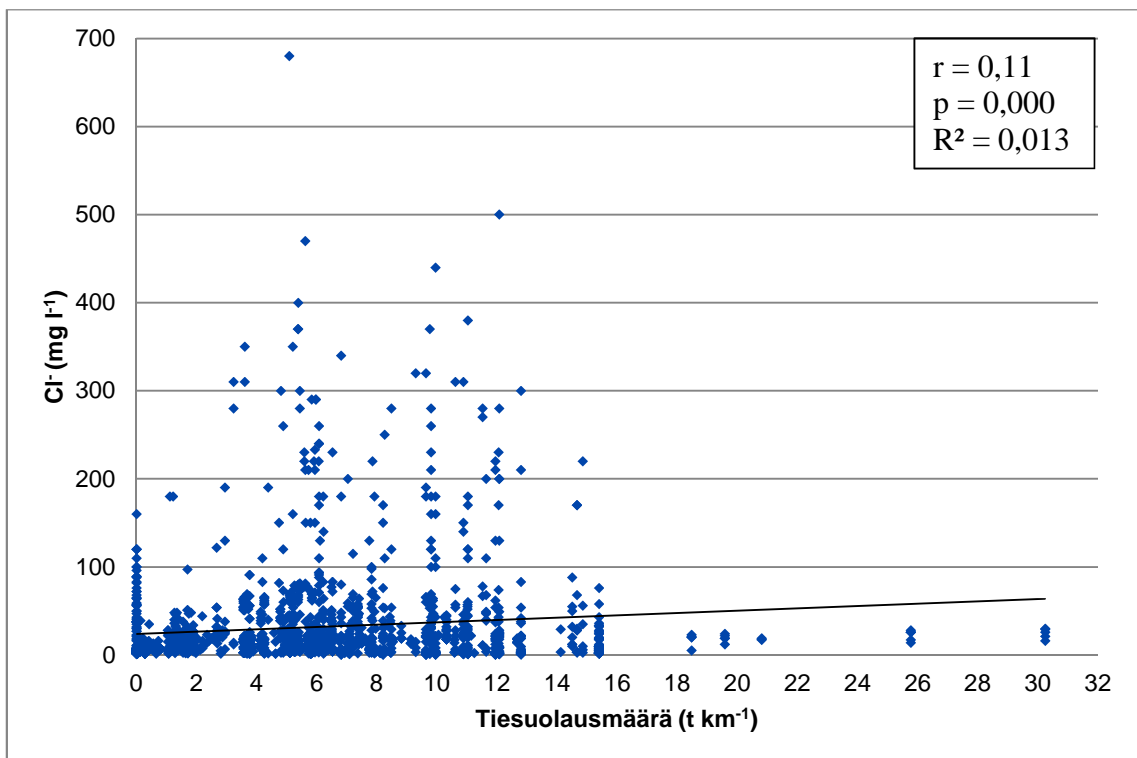
Kuva 14. Tiesuolan kokonaiskäyttömäärä (t) tutkimusalueen urakka-alueilla eri hoitoluokan teillä 1.10.2004–30.9.2014.

Tiesuolausmäärän yhteyttä havaittuihin kloridipitoisuuksiin testattiin tilastollisen analyysin avulla (Kuvat 15 ja 16). Tilastolliseen analyysiin valittiin 163 havaintopistettä, joiden kloridipitoisuudet ja läheisen tien suolausmäärä ovat tiedossa ajanjaksolta 1.10.2004–30.9.2014. Kloridipitoisuushavaintoja oli yhteensä 1866. Tietojen perusteella havaintopisteille laskettiin keskimääräinen kloridipitoisuus ja suolausmäärä tiekilometriä kohden vuosina 2005–2014. Pitkänajan keskiarvojen perusteella tiesuolauksen ja pohjavesien kloridipitoisuuksien välillä on tilastollinen yhteys, sillä Pearsonin korrelaatiokerroin on 0,18 ja p-arvo 0,01.

Vastaavasti testattiin yksittäisten havaintojen ja havaintohetkellä vallinneiden suolausmäärien yhteyttä vuosina 2005–2014, ja myös näiden arvojen välillä vallitsee selkeä tilastollinen merkitsevyys. Korrelaatiokerroin on 0,11 ja p-arvo 0,000. Tiesuolauksen määrällä on aineiston perusteella positiivinen korrelaatio sekä pitkän aikavälin keskiarvojen että jo saman talvikauden aikana mitattujen kloridipitoisuuksien kanssa.



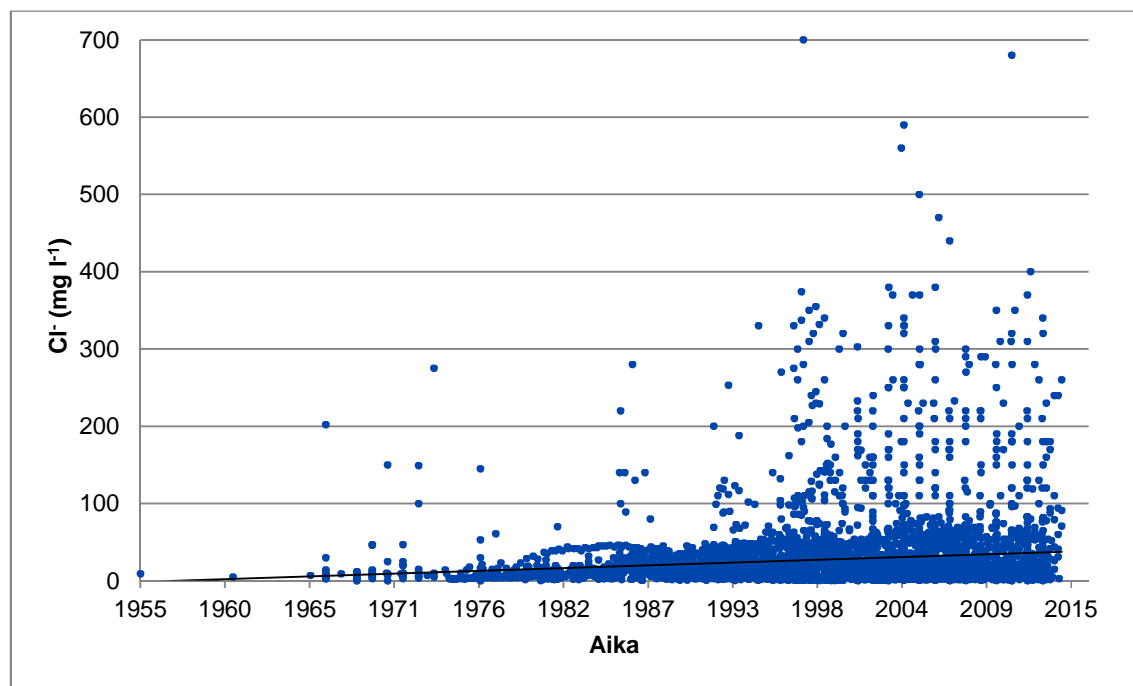
Kuva 15. Suolan keskimääräisen käyttömäärän vaikutus kloridipitoisuuksien keskiarvoon vuosina 2005–2014.



Kuva 16. Tiesuolauksen vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin saman talvikauden aikana vuosina 2005–2014. $n = 1866$.

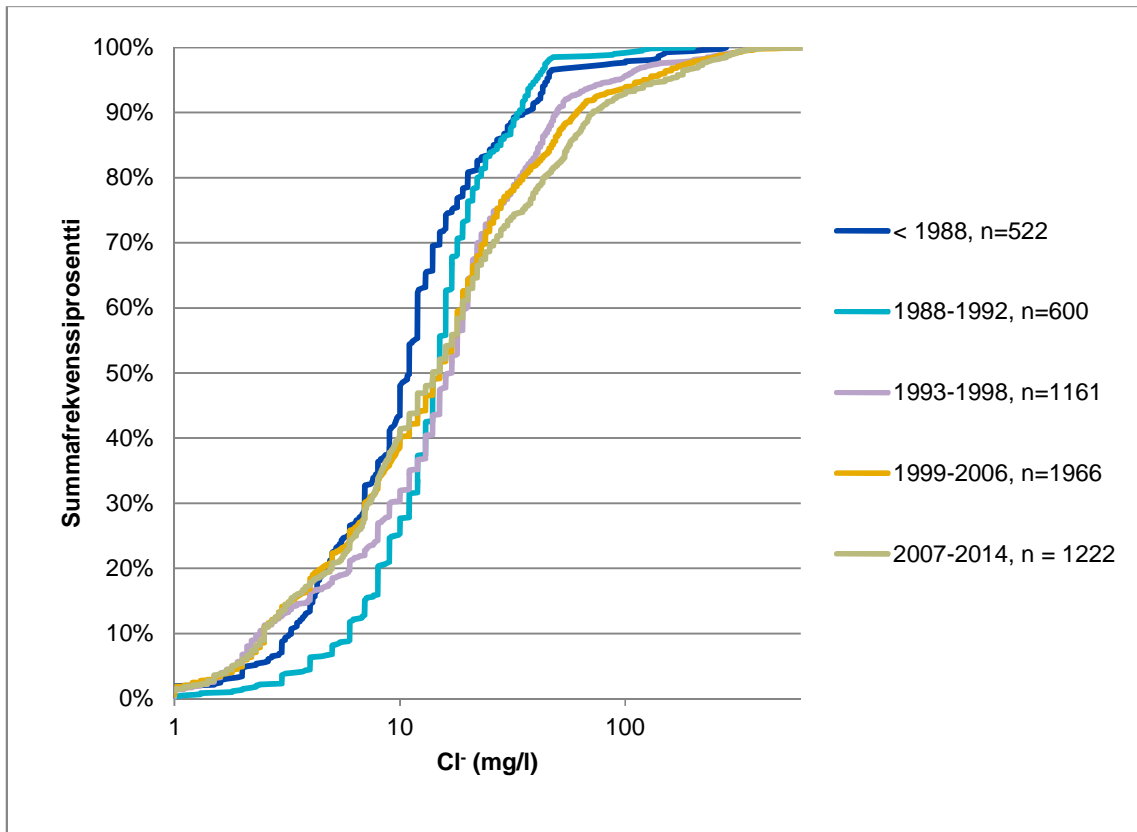
7.3. Pohjaveden kloridipitoisuudet eri ajanjaksoina

Ensimmäisen Salpausselän alueella pohjaveden kloridipitoisuuksien trendi on kasvava tarkasteltaessa vuosia 1955–2014 (Kuva 17). Tiesuolausmäärät ovat kuitenkin vaihdelleet eri ajanjaksoina, joten tiesuolauskäytäntöjen muutosten vaikutusta pohjaveden kloridipitoisuuksiin testattiin tilastollisen analyysin avulla.



Kuva 17. Pohjaveden kloridipitoisuudet ajan funktiona. $n = 5471$.

Kloridipitoisuuksia eri aikakausina tutkittiin tilastollisesti summafrekvenssiprosentin avulla. Kloridimittaukset jaettiin viiteen ajanjaksoon, joiden aikana suolauskäytännöt ovat olleet erilaisia. Summafrekvenssi on tiettyä kloridipitoisuutta (esim. 25 mg l^{-1}) pienempien tai yhtä suurien mittaustulosten lukumäärää tietyllä ajanjaksolla. Summafrekvenssiprosentti on tietyn kloridipitoisuuden summafrekvenssin eli lukumäärän prosenttiosuus kaikista saman ajanjakson kloriditulosten lukumäärästä. Esimerkiksi kloridipitoisuuden 25 mg l^{-1} summafrekvenssiprosentti ennen vuotta 1988 mitatuista kloridituloksista oli 85 % eli 85 % ennen vuotta 1988 mitatuista pitoisuuksista oli enintään 25 mg l^{-1} (Kuva 18). Summafrekvenssiprosenttikuvaaja näyttää havainnollisesti myös eri ajanjaksoilla mitattujen kloridipitoisuuksien mediaanin. Mediaani on yhtä suuri kuin kloridipitoisuus silloin kun summafrekvenssiprosentti on 50 %.



Kuva 18. Koko aineiston kloridianalyysitulosten jakautuminen viiteen ajanjaksoon, jotka perustuvat tiesuolauskäytäntöjen eroihin. Koko aineistossa kloridipitoisuus vaihtelee 0,4–700 mg l⁻¹.

Tilastollisen tarkastelun perusteella ensimmäisen Salpausselän alueen pohjavesien kloridipitoisuuksien mediaani oli pienimmillään ennen vuotta 1987 ja suurimmillaan ajanjaksolla 1993–1998. 2000-luvulla kloridipitoisuuksien mediaani on hieman laskenut verrattuna ajanjaksoon 1993–1998, mutta samalla pitoisuuksien hajonta ja keskiarvo ovat nousseet (Kuva 18 ja Taulukko 4).

Taulukko 4. Pohjaveden kloridipitoisuudet luokiteltuina eri suolausajanjaksoihin.

Ajanjakso	n	Kloridipitoisuus (mg/l)		Vuosittainen tiesuolaus ka koko Suomessa
		Md	Vaihteluväli (50 % havainnoista)	
1959–1987	468	11	6–18	35 200
1988–1992	467	15	9–20	129 000
1993–1998	1116	17	7–28	100 400
1999–2006	1962	15	6–27	86 400
2007–2014	1458	14	6–35	84 200*

*ka vuosilta 2007–2013

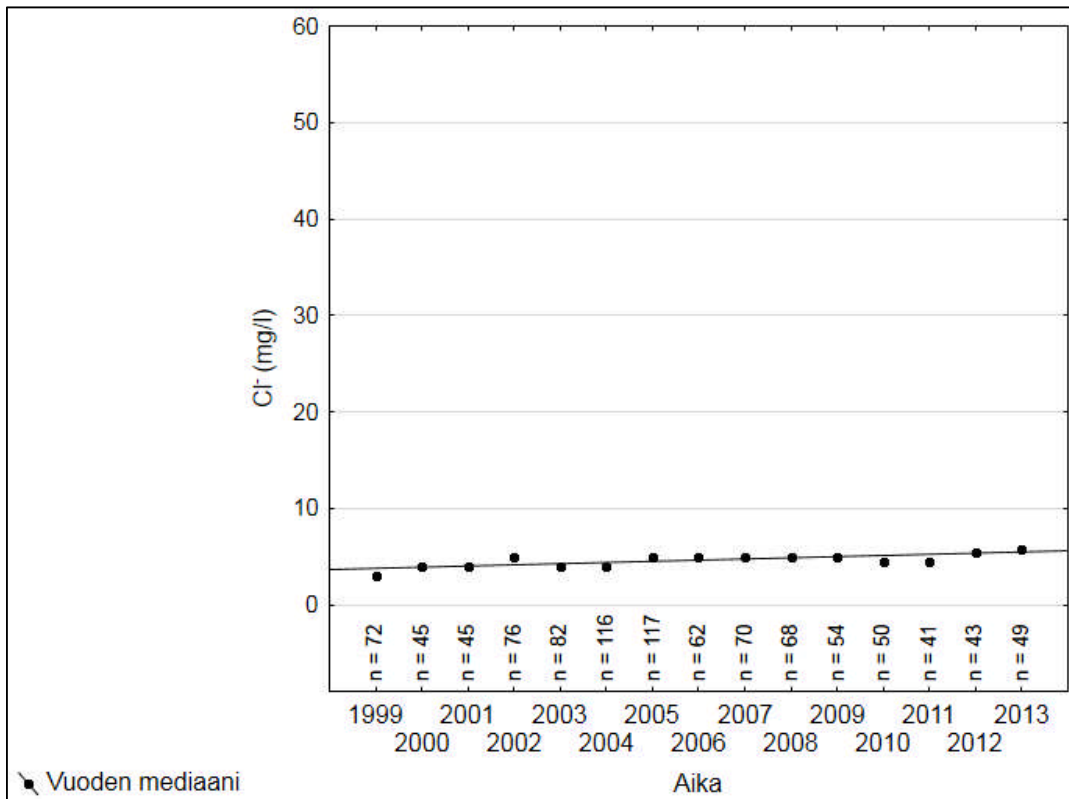
7.4. Kloridipitoisuuden kehitys eri pitoisuusluokissa 2000-luvulla

Kloridipitoisuuksien kehitystä eri pitoisuusluokissa tarkasteltiin vuosilta 1999–2013. Havaintopisteet luokiteltiin kolmeen pitoisuusluokkaan ajanjakson 1999–2004 ensimmäisen seurantavuoden keskiarvon perusteella (Taulukko 5). Tämän ajanjakson ensimmäisen seurantavuoden keskiarvo kuvastaa havaintopisteen kloridipitoisuustasoa 2000-luvun alussa. Ensimmäinen seurantavuosi saattaa tässä yhteydessä olla mikä tahansa vuosi vuosien 1999 ja 2004 väliltä, eikä havaintopisteiden vuotta 1999 vanhempia kloridihavaintoja ole huomioitu tarkastelussa. Tarkastelussa oli yhteensä 149 havaintopistettä.

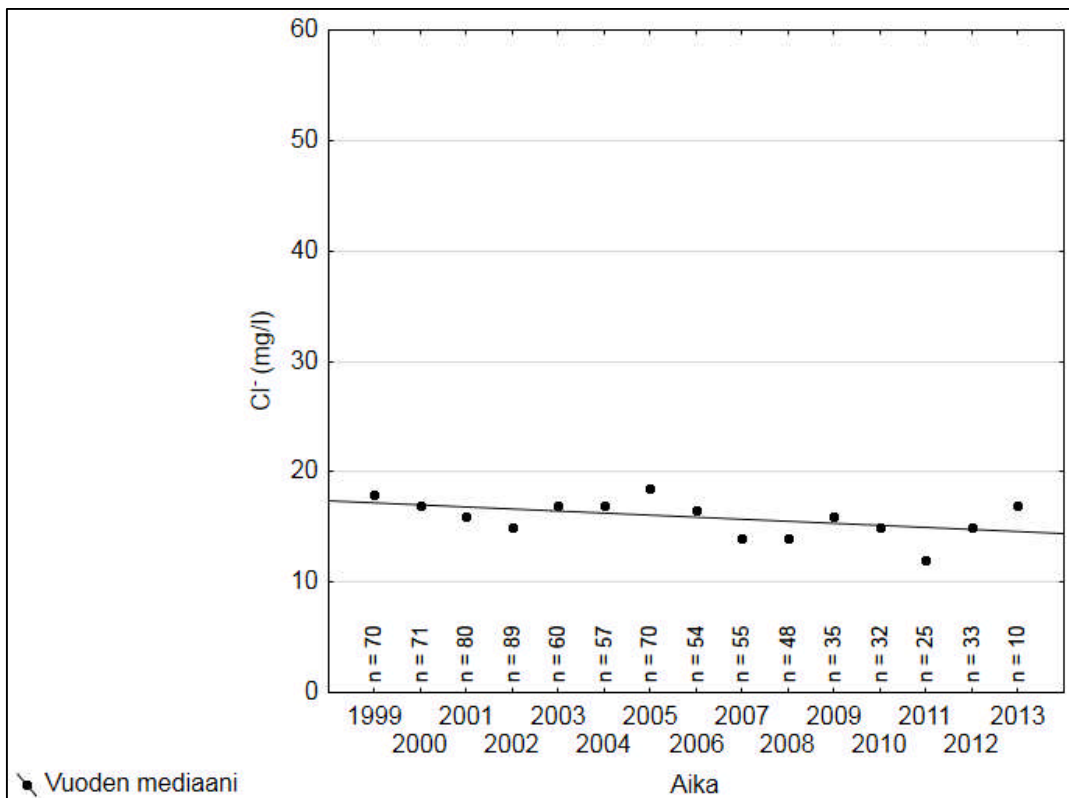
Taulukko 5. Kloridipitoisuusluokat. Luokkien rajat perustuvat siihen, että alle 10 mg l⁻¹ kloridipitoisuudet ovat luonnontilaisia tai lähes luonnontilaisia ja yli 25 mg l⁻¹ kloridipitoisuudet ylittävät korroosiorajana pidetyn arvon. Havaintopisteet on jaettu pitoisuusluokkiin ajanjakson 1999–2004 ensimmäisen havaintovuoden keskiarvon perusteella.

Kloridipitoisuusluokka (mg/l)	Havaintopisteitä 2000-luvun alussa (kpl)
0–9,99	52
10–24,99	41
≥ 25	56

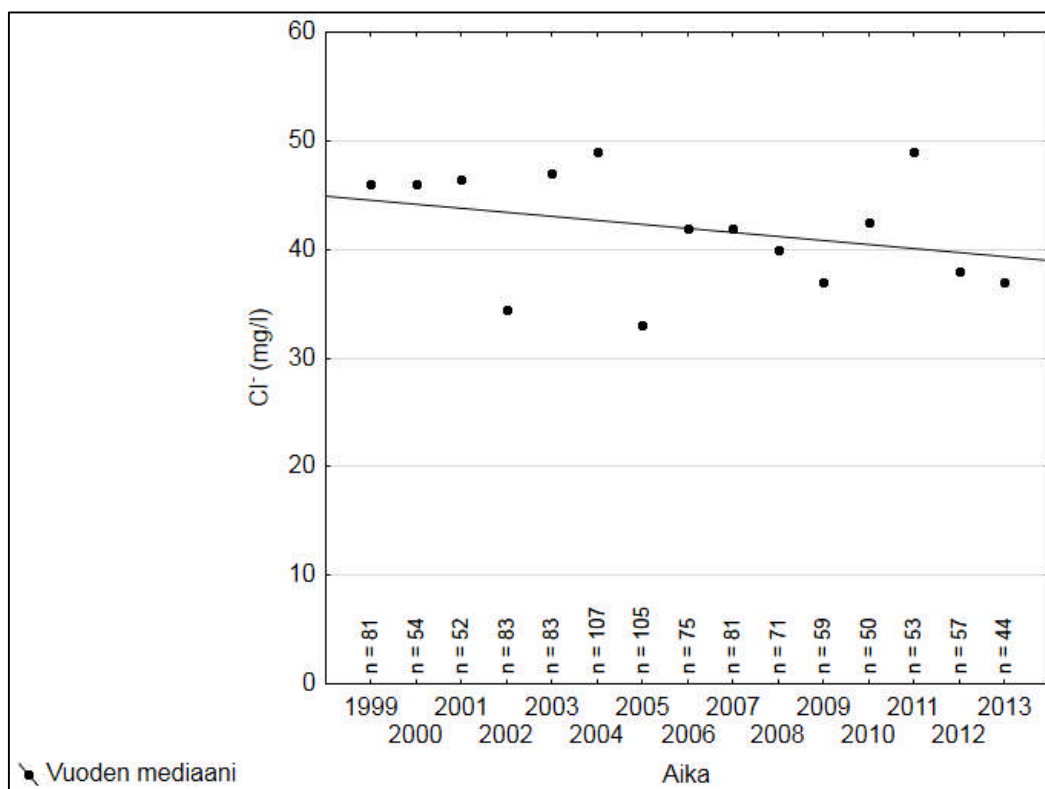
Kloridipitoisuusluokkiin jaon jälkeen havaintopisteiden kloridipitoisuuden kehitystä tarkasteltiin vuosittain. Kuvissa 19, 20 ja 21 on kuvattu eri pitoisuusluokkiin kuuluvien havaintopisteiden kloridipitoisuuden kehitys 2000-luvulla vuosimediaanien avulla. Pienimpien pitoisuuksien luokassa (0–9,99 mg l⁻¹) kloridipitoisuuksien mediaani on noussut 2000-luvulla noin 2 mg l⁻¹. Kloridipitoisuusluokassa 10–24,99 mg l⁻¹ kloridipitoisuuksien mediaani on laskenut noin 3–4 mg l⁻¹. Suurimpien pitoisuuksien luokassa (≥ 25 mg l⁻¹) kloridipitoisuuksien mediaani on laskenut 6 mg l⁻¹. Luonnontilaisten pohjavesien kloridipitoisuudet ovat tilastollisesti hieman nousseet 2000-luvun aikana, kun taas luonnontilaista pitoisuutta suuremmissa pitoisuusluokissa keskimääräinen kloridipitoisuuden trendi on ollut laskeva 2000-luvulla.



Kuva 19. Kloridipitoisuuksien kehitys 52:ssa kloridipitoisuusluokan 0–9,9 mg l⁻¹ havaintopisteessä. Yksittäiset kloridihavainnot vaihtelevat 0,4–280 mg l⁻¹. n = 990.



Kuva 20. Kloridipitoisuuksien kehitys 41:ssä kloridipitoisuusluokan 10–24,9 mg l⁻¹ havaintopisteessä. Yksittäiset kloridihavainnot vaihtelevat 1–130 mg l⁻¹. n = 789.

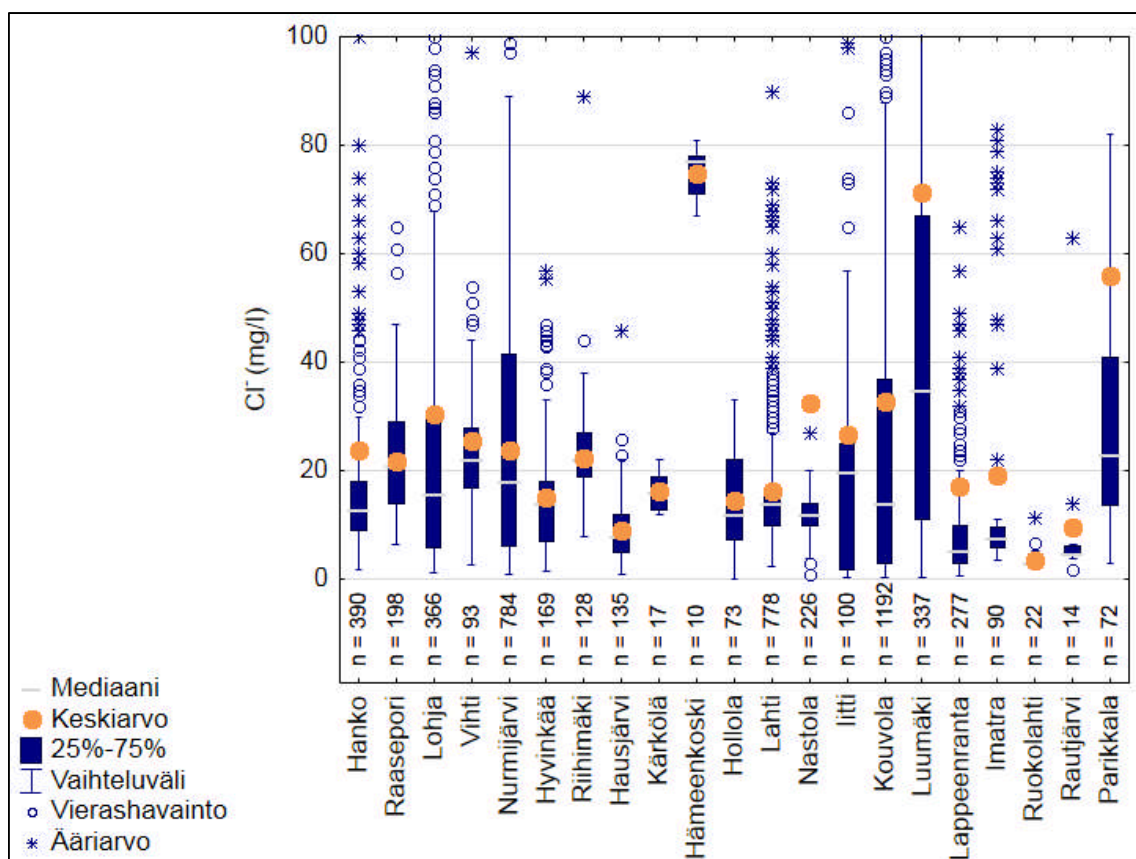


Kuva 21. Kloridipitoisuuksien kehitys 56:ssa kloridipitoisuusluokan $\geq 25 \text{ mg l}^{-1}$ havaintopisteessä. Yksittäiset kloridihavainnot vaihtelevat $0,5\text{--}680 \text{ mg l}^{-1}$. $n = 1055$.

7.5. Alueelliset erot pohjaveden kloridipitoisuuksissa

Aineiston perusteella on pyritty selvittämään alueellisia eroja pohjaveden kloridipitoisuuksissa. Kuvassa 22 on esitetty tutkimusalueen kuntien pohjaveden kloridipitoisuudet laatikkojanadiagrammin avulla. Kuntakohtaisen tarkastelun avulla selvitettiin, ettei merivesi tai muinaisen Litorinameren vaikutus aiheuta pohjaveteen yhtenäisiä alueellisia eroja rannikkoseudun ja sisämaan kohteiden välillä.

Kuvissa 23, 25 ja 27 on esitetty pohjaveden kloridipitoisuudet tutkimusalueen eli Uudenmaan, Hämeen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella. Eri alueilla pohjaveden kloridipitoisuudet vaihtelevat suuresti. Aineiston perusteella korkein pohjaveden kloridipitoisuuden mediaani on Uudenmaan ELY-keskuksen alueella. Toisaalta Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella on mitattu suuria yksittäisiä kloridipitoisuuksia, ja Kaakkois-Suomen alueen keskiarvoinen kloridipitoisuus on suurempi kuin muiden ELY-keskusten alueella (Taulukko 6).

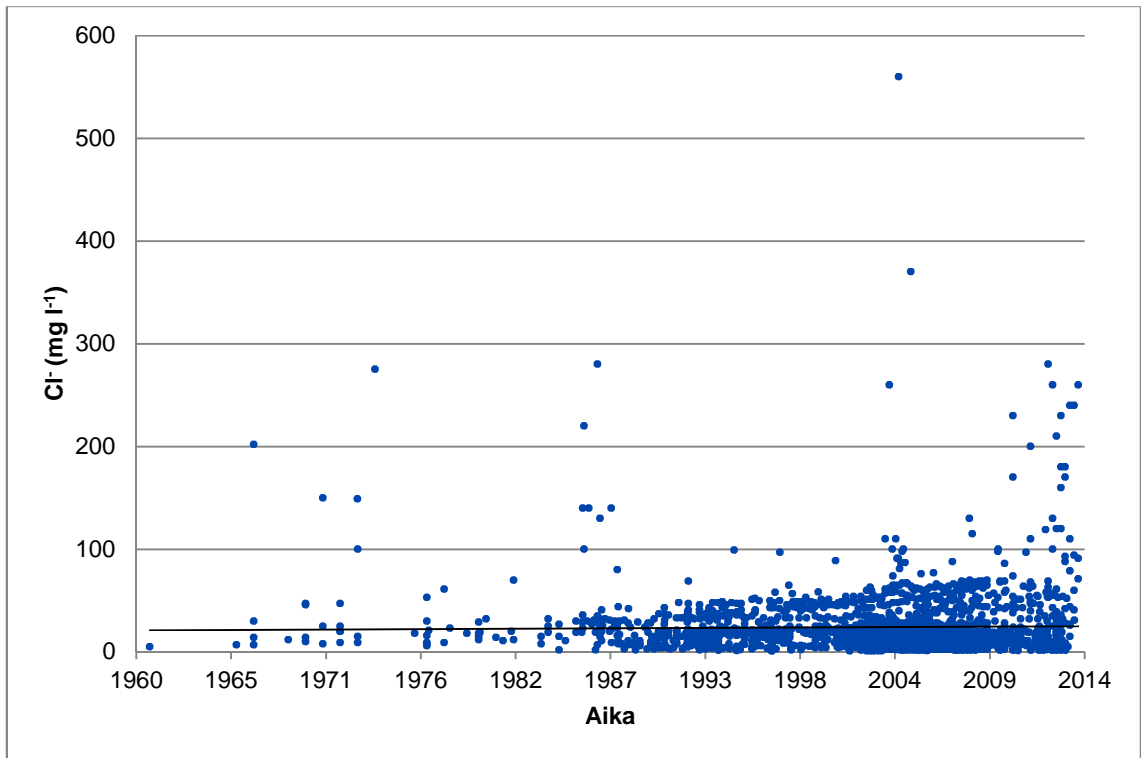


Kuva 22. Pohjaveden kloridipitoisuudet kunnittain. $n = 5471$. Kuva on rajattu kloridipitoisuustasolle 0–100 mg l⁻¹.

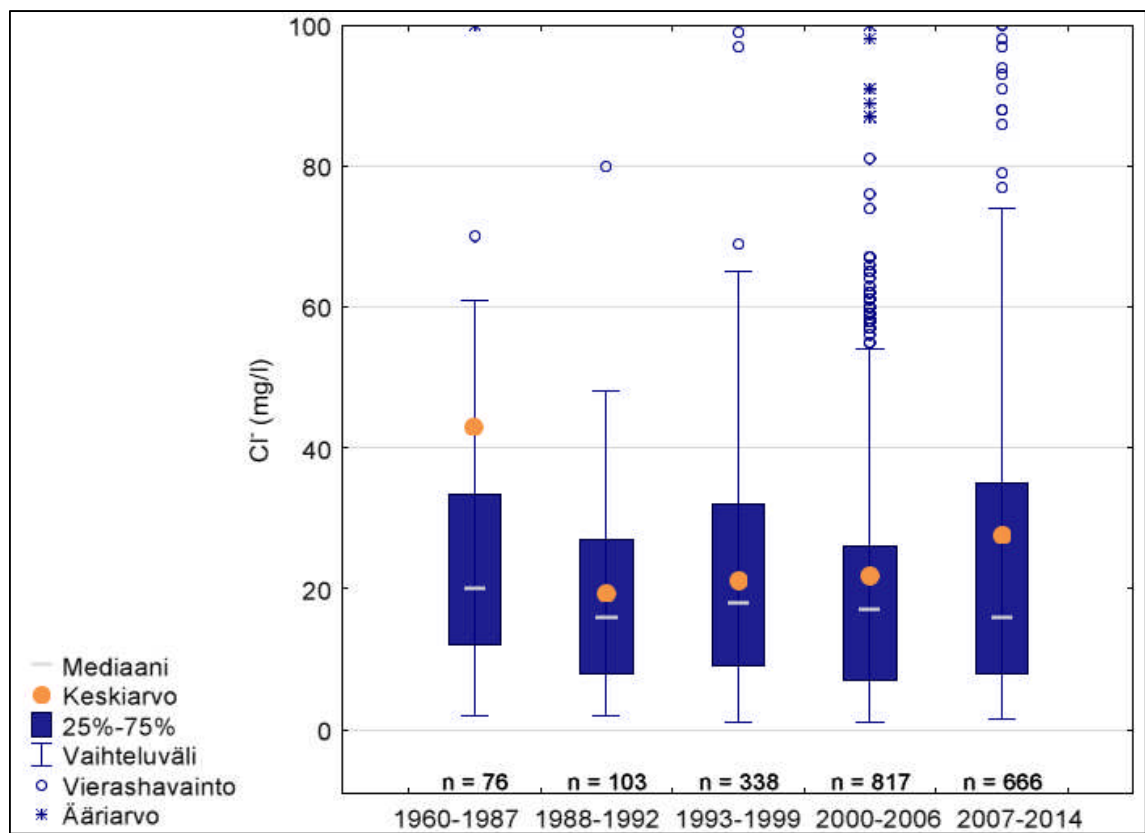
Taulukko 6. Pohjaveden kloridipitoisuudet Uudenmaan, Hämeen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella.

Alue	Havaintoja (kpl)	Kloridipitoisuus (mg/l)			
		min	max	md	ka
Uudenmaan ELY-keskus	2000	1	560	17	24
Hämeen ELY-keskus	1367	1	470	13	19
Kaakkois-Suomen ELY-keskus	2104	0,4	700	13	36

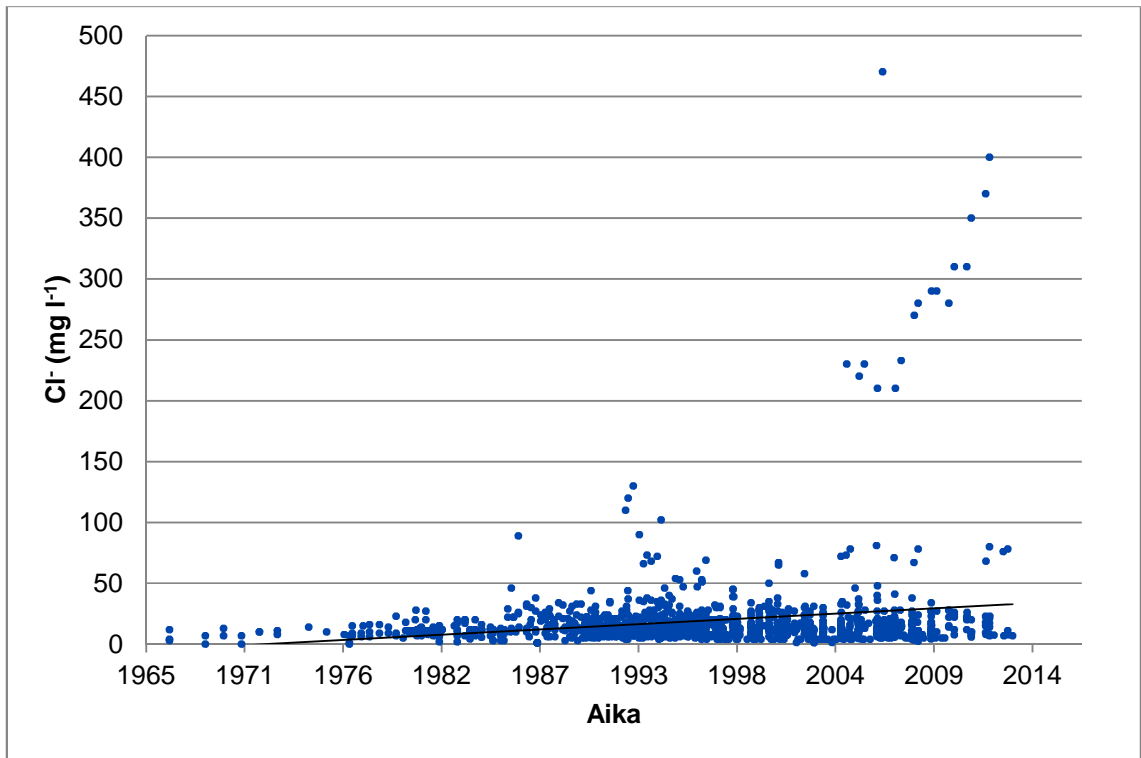
Uudenmaan, Hämeen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella pohjavesien kloridipitoisuuksien trendi on kasvava tarkasteltaessa ajanjaksoa 1955–2014. Aineiston perusteella pohjaveden kloridipitoisuuksien mediaanit ovat kuitenkin laskeneet 2000-luvulla kaikkien kolmen ELY-keskuksen alueella. Toisaalta pohjavesien kloridihavaintojen keskiarvo on noussut ja hajonta lisääntynyt (Kuvat 24, 26 ja 28).



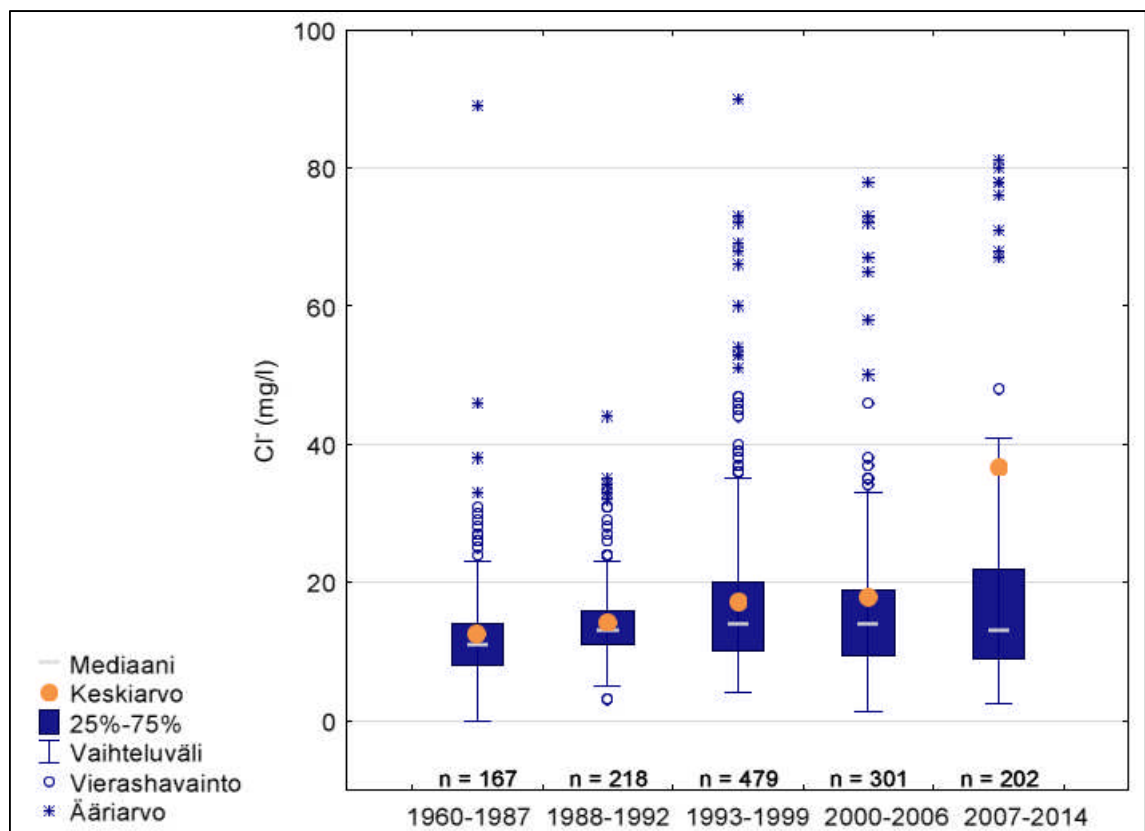
Kuva 23. Pohjaveden kloridipitoisuudet Uudenmaan ELY-keskuksen alueella.



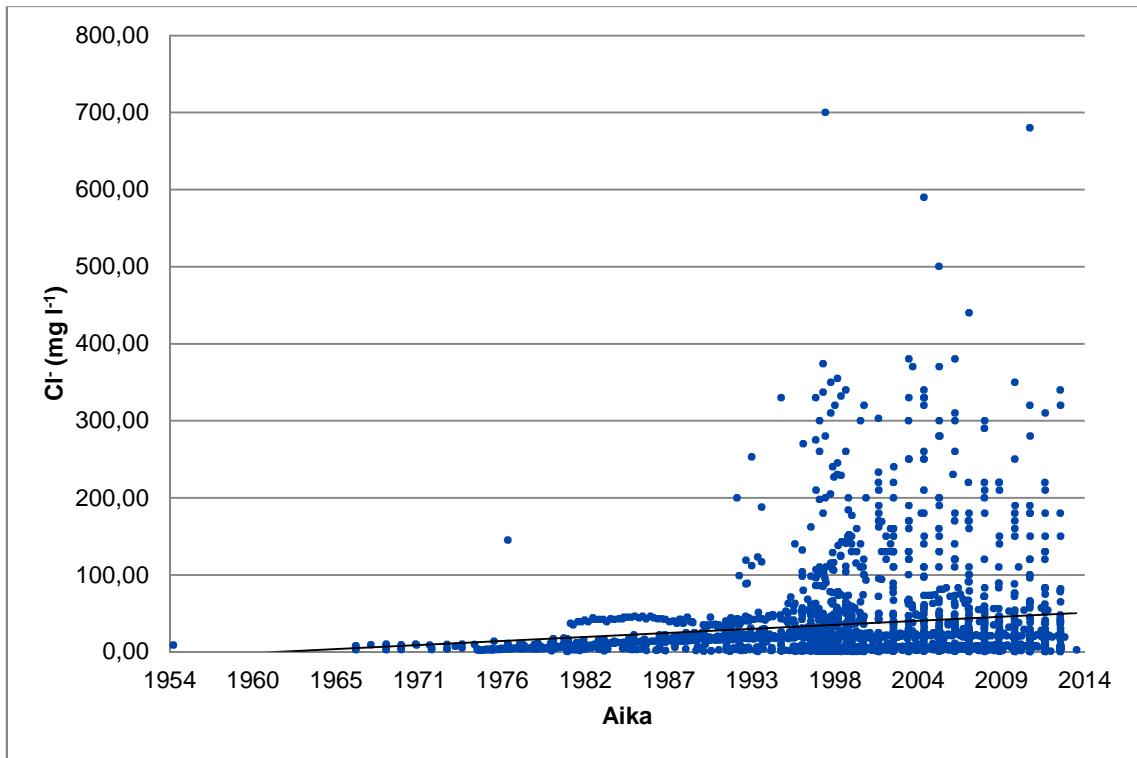
Kuva 24. Pohjaveden kloridipitoisuudet Uudenmaan ELY-keskuksen alueella luokiteltuina eri ajanjaksoihin. Kuva on rajattu kloridipitoisuustasolle 0–100 mg l^{-1} , joten osa vierashavainnoista ja ääriarvoista ei näy kuvassa.



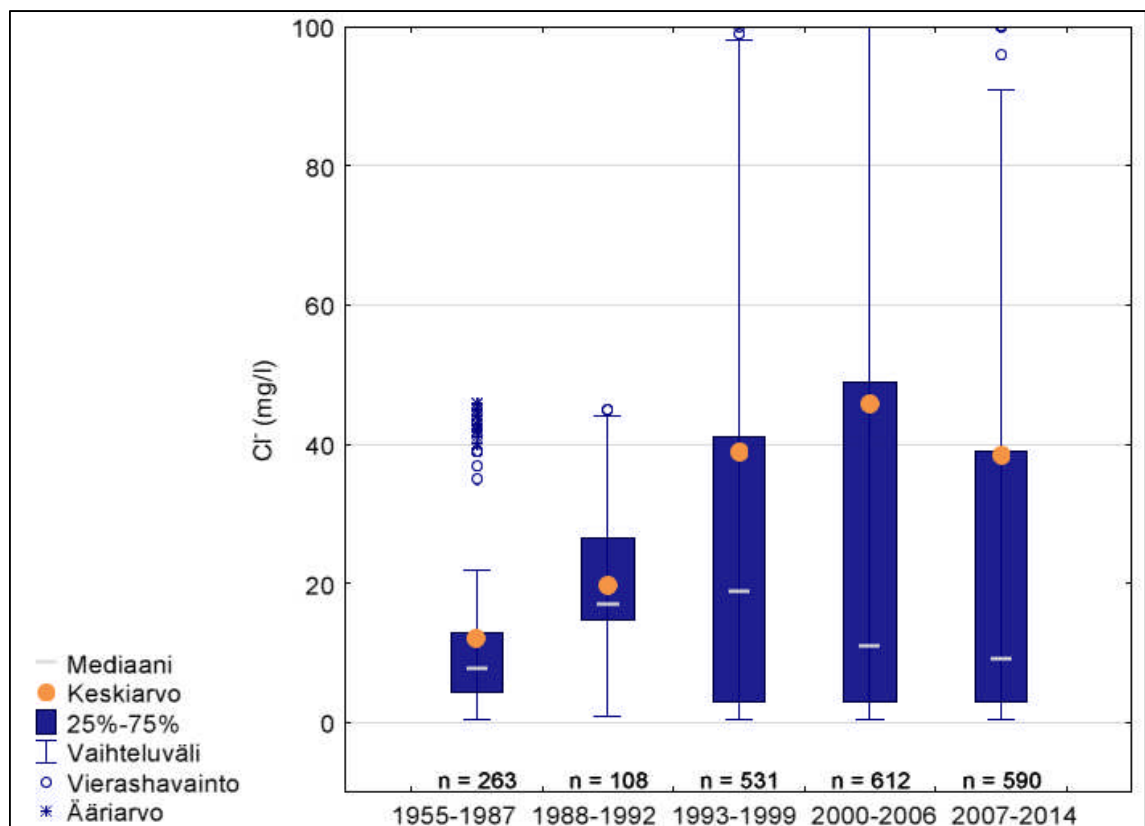
Kuva 25. Pohjaveden kloridipitoisuushavainnot Hämeen ELY-keskuksen alueella.



Kuva 26. Pohjaveden kloridipitoisuushavainnot Hämeen ELY-keskuksen alueella luokiteltuna eri ajanjaksoihin. Kuva on rajattu kloridipitoisuustasolle 0–100 mg l⁻¹, joten osa vierashavainnoista ja ääriarvoista ei näy kuvassa.



Kuva 27. Pohjaveden kloridipitoisuushavainnot Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella.

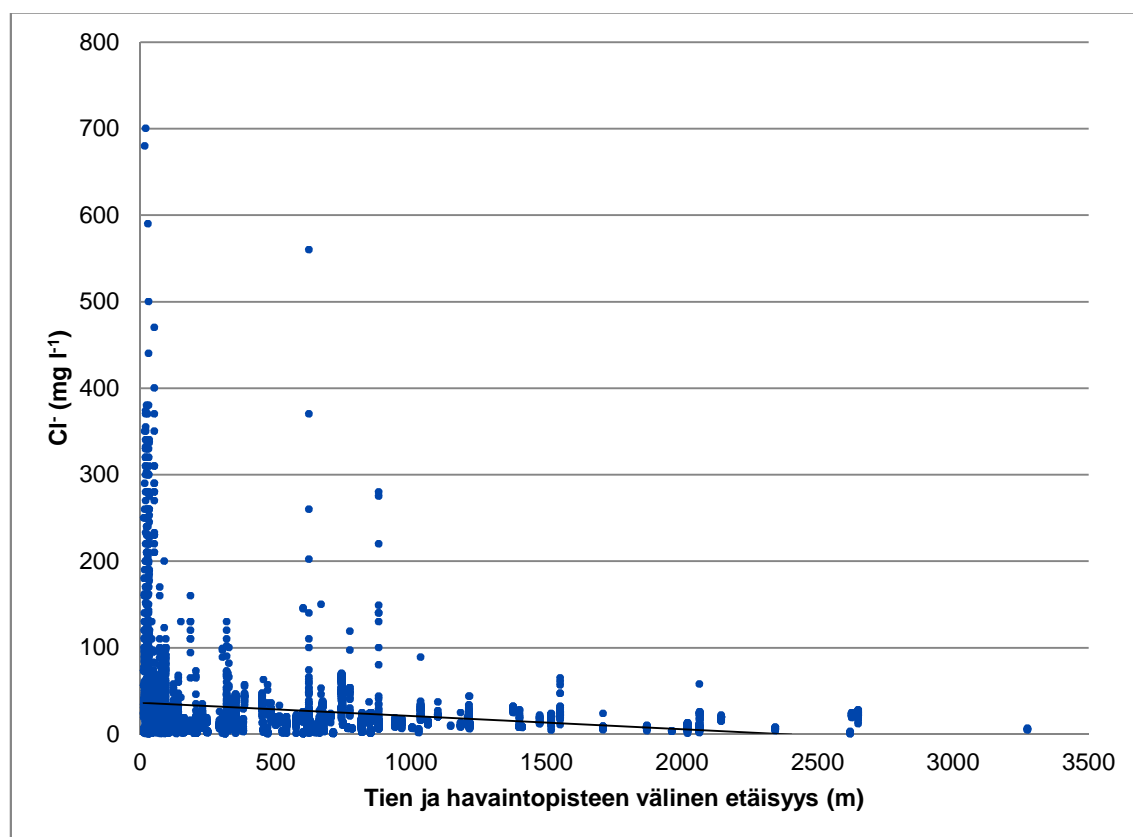


Kuva 28. Pohjaveden kloridipitoisuushavainnot Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella luokiteltuna eri ajanjaksoihin. Kuva on rajattu kloridipitoisuustasolle 0–100 mg l⁻¹, joten osa vierashavainnoista ja ääriarvoista ei näy kuvassa.

7.6. Tien vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin

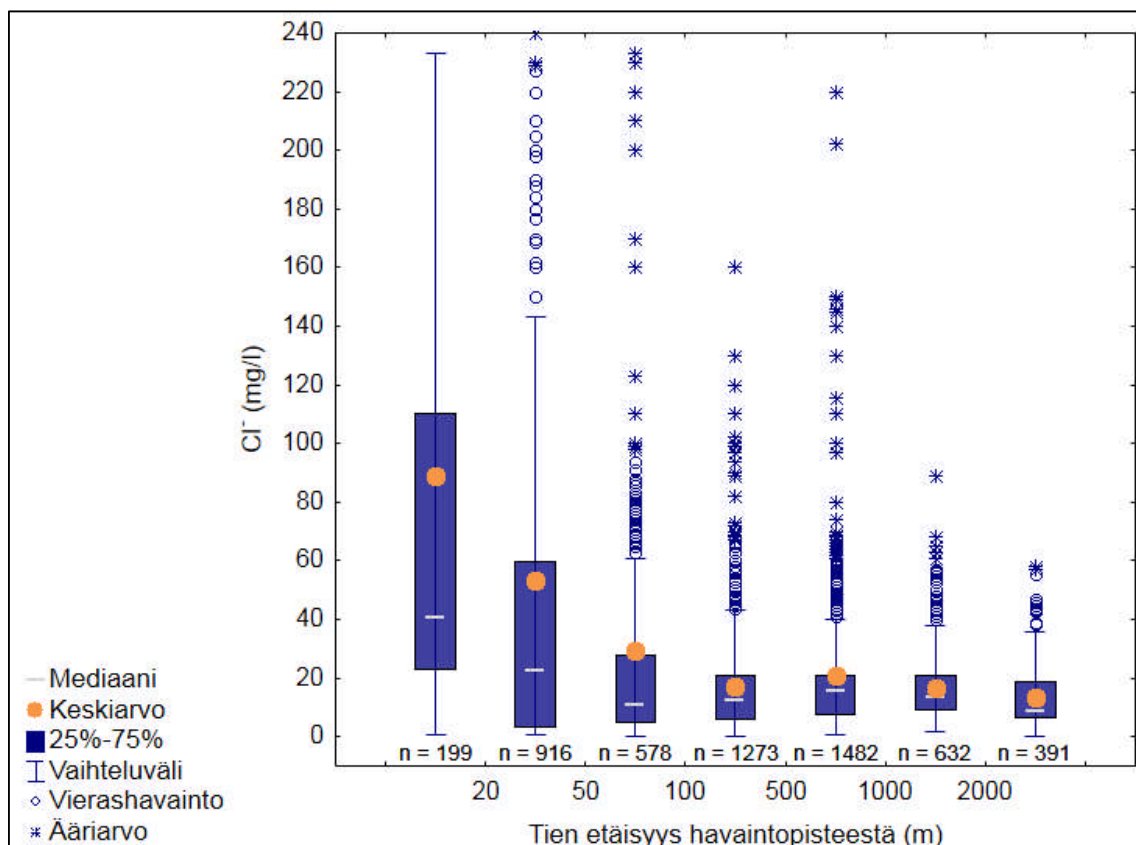
7.6.1. Tien ja havaintopisteen välinen etäisyys

Tien ja havaintopisteen välisen etäisyyden vaikutusta pohjaveden kloridipitoisuuksiin tutkittiin tilastollisen analyysin avulla. Tien ja havaintopisteen välinen etäisyys on aineistossa keskimäärin 523 metriä. Tilastollisessa tarkastelussa etäisyyden ja kloridipitoisuuksien välinen Pearsonin korrelaatiokerroin on $-0,19$ ja p-arvo $0,000$ (Kuva 29). Havaintopisteet jaettiin etäisyysluokkiin, jotka ovat: 0–19 m, 20–49 m, 50–99 m, 100–499 m, 500–999 m, 1000–1999 m ja yli 2000 m. Luokkien välisiä tilastollisten tunnuslukujen eroja tarkasteltiin laatikkojanadiagrammin avulla (Kuva 30).



Kuva 29. Tien ja havaintopisteen välinen etäisyys. $n = 5471$.

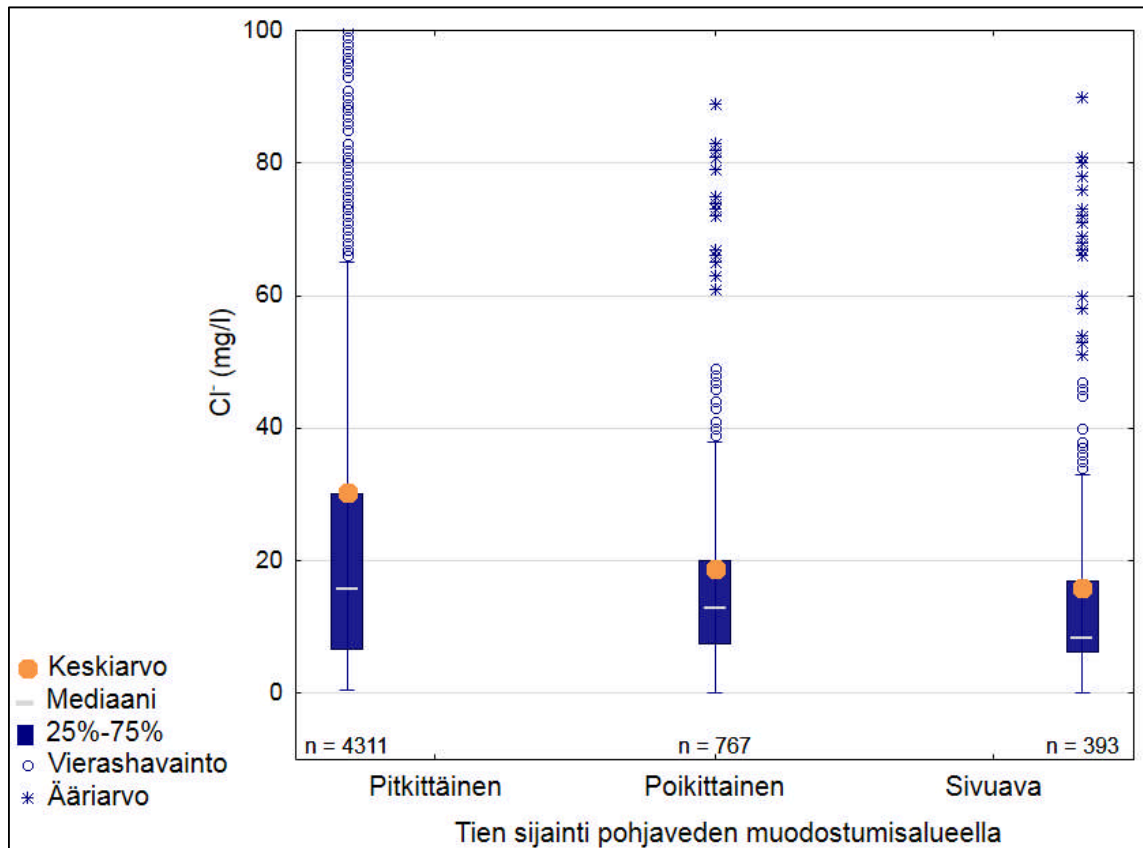
Aineiston perusteella havaintopisteen ja tien välinen etäisyys vaikuttaa pohjaveden kloridipitoisuuksiin. Niissä havaintopisteissä, jotka sijaitsevat tien välittömässä läheisyydessä, mitataan keskimäärin selvästi suurempi kloridipitoisuuksia kuin havaintopisteissä, jotka sijaitsevat kauempana tiestä.



Kuva 30. Tien ja havaintopisteen välisen etäisyyden vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin eri etäisyysluokissa. Kuva on rajattu kloridipitoisuustasolle 0–240 mg l⁻¹, joten osa vierashavainnoista ja ääriarvoista ei näy kuvassa. n = 5471.

7.6.2. Tien sijainti pohjaveden muodostumisalueella

Tien sijainti pohjaveden muodostumisalueella voi olla pääasiassa pitkittäinen, poikittainen tai sivuva. Ensimmäisen Salpausselän alueella tiet on monesti rakennettu reunamuodostumaa pitkin. Tien sijainnin vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin on tilastollisesti merkitsevä (p-arvo on 0,000). Suurin positiivinen korrelaatio (0,10) on pohjaveden kloridipitoisuuksien ja pitkittäisesti rakennetun tien välillä. Aineiston perusteella pohjavesialueilla, joilla tie on rakennettu pitkittäisesti, on havaittu suurempia kloridipitoisuuksia kuin sellaisilla pohjavesialueilla, joilla tie kulkee poikittaisesti tai sivuaa aluetta (Kuva 31). Pohjavesialueilla, joilla tie kulkee pitkittäisesti, kloridipitoisuuksien keskiarvo on 30 mg l⁻¹ ja mediaani 16 mg l⁻¹. Pohjavesialueilla, joilla tie kulkee poikittaisesti, kloridipitoisuuksien keskiarvo on 19 mg l⁻¹ ja mediaani 13 mg l⁻¹. Niillä pohjavesialueilla, joilla tie ainoastaan sivuaa pohjaveden muodostumisaluetta, kloridipitoisuuksien keskiarvo on 16 mg l⁻¹ ja mediaani 9 mg l⁻¹.



Kuva 31. Tien sijainnin vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin. Kuva on rajattu kloridipitoisuustasolle 0–100 mg l^{-1} , joten osa vierashavainnoista ja ääriarvoista ei näy kuvassa. $n = 5471$.

7.6.3. Tieosan pituus pohjaveden muodostumisalueella

Tien pituudella pohjaveden muodostumisalueella on tilastollinen merkitsevyys pohjaveden kloridipitoisuuksien kanssa (p-arvo on 0,000). Pearsonin korrelaatiokerroin on -0,05.

7.7. Luiskasuojauksen vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin

7.7.1. Luiskasuojauksen toimivuuden arvioiminen tilastollisen analyysin avulla

Eri luiskasuojausmenetelmien vaikutusta pohjaveden kloridipitoisuuteen tutkittiin korrelaatiotarkastelujen avulla. Nykyaikaisista luiskasuojauksista suojausmenetelmällä bentoniittimatto ja muovi on tilastollisesti merkitsevä yhteys pohjaveden kloridipitoisuuden kanssa (p-arvo on 0,000). Pearsonin korrelaatiokerroin on 0,08.

Toisella nykyaikaisista luiskasuojausmenetelmistä, bentoniitilla ja kuitukankailla, ei ole tilastollisesti merkitsevää yhteyttä pohjaveden kloridipitoisuuden kanssa.

Aiemmin suojausrakenteena käytetyllä tiivistetyllä maakerroksella on tilastollisesti merkitsevä yhteys havaittuihin kloridipitoisuuksiin (p-arvo on 0,000). Pearsonin korrelaatiokerroin on 0,12. Suojauksen puuttumisella on tilastollinen merkitsevyys (p-arvo on 0,000). Pearsonin korrelaatiokerroin on -0,12.

7.7.2. Luiskasuojauksen toimivuuden arvioiminen pohjaveden kloridipitoisuuden trendimuutosten avulla

Ensimmäisen Salpausselän alueella on 15 pohjavesialuetta, joissa pääsääntöisesti valtateille on rakennettu nykyvaatimusten mukainen luiskasuojaus (bentoniittimaton ja muovin yhdistelmä rakenne tai bentoniitti ja kuitukankaat). Näillä pohjavesialueilla 11:sta on merkkejä luiskasuojauksien vähintäänkin osittaisesta toimimisesta, kun luiskasuojauksen toimivuutta arvioidaan pohjaveden kloridipitoisuuksien trendimuutosten perusteella.

Tutkimusaineiston perusteella luiskasuojaus vaikuttaa pääasiassa toimivan Kouvolan Kaipiaisen, Lahden Kunnaksen, Hangon Sandö-Grönvikin ja Kouvolan Utin pohjavesialueilla. Utin pohjavesialueella suojaus ei kata koko pohjaveden muodostumisaluetta, joten osassa havaintopisteissä on mitattu korkeita kloridipitoisuuksia. Suojaus ei vaikuta aineiston perusteella toimivan Lohjan Lohjanharju B:n, Vihdin Nummelanharjun, Luumäen Taavetin eikä Imatran Vesioronkankaan pohjavesialueilla. Luiskasuojaus saattaa toimia Hangon, Hangon Isolähteen, Lappeenrannan Joutsenonkangas A:n ja Ukonhaudan, Lahden, Lahden Renkomäen sekä Nurmijärven Teilinummen pohjavesialueilla, mutta näillä alueilla tulokset eivät ole yhdenmukaisia kaikissa havaintopisteissä.

7.8. Geologisen ympäristön vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin

Tässä tutkimuksessa geologista ympäristöä kuvaavat tekijät ovat pohjavesialueen kokonaispinta-ala ja muodostumisalueen pinta-ala, arvio muodostuvan pohjaveden

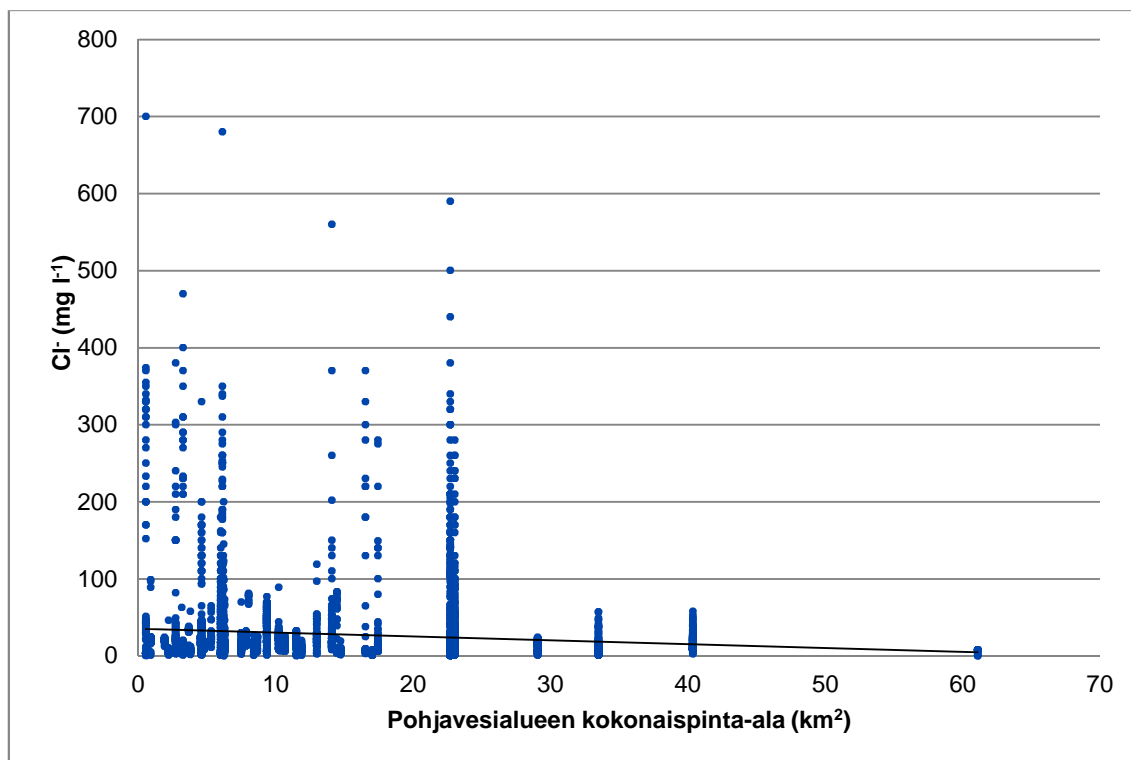
määrästä ja maaperän imeytymiskertoimesta, teoreettinen geologinen muodostumatyyppi ja pohjavesialueen antiklinisuus tai synklinisyys.

7.8.1. Pohjavesialueen kokonaispinta-ala ja muodostumisalueen pinta-ala

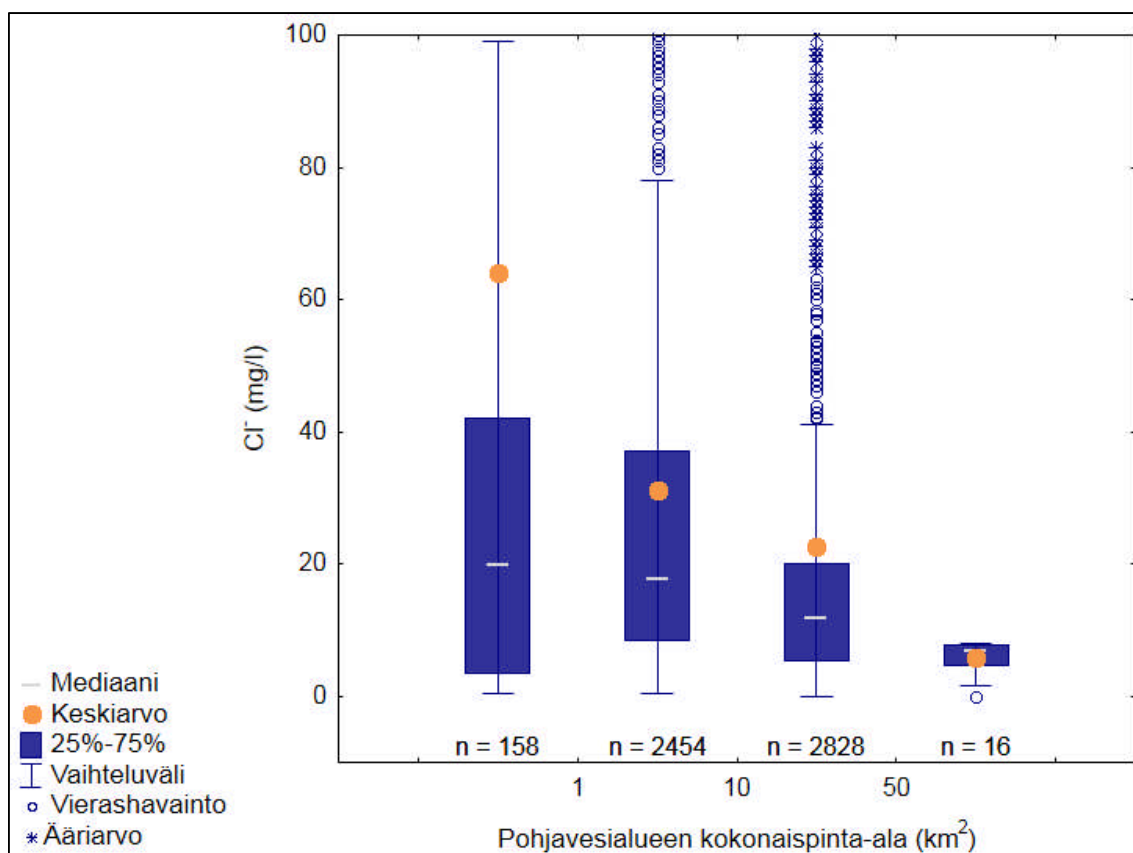
Ensimmäisen Salpausselän alueella sijaitsevien pohjavesialueiden keskimääräinen kokonaispinta-ala on 11 km^2 (mediaani $7,8 \text{ km}^2$) ja pohjaveden muodostumispinta-ala $7,1 \text{ km}^2$ (mediaani 4 km^2). Sekä pohjavesialueen kokonaispinta-alan että muodostumispinta-alan suuruus vaikuttavat tämän tutkimusaineiston perusteella pohjaveden kloridipitoisuuksiin (Kuvat 32 ja 34). Pohjaveden kloridipitoisuuden ja pohjavesialueen kokonaispinta-alan välinen korrelaatiokerroin on $-0,120$ ja p-arvo $0,000$. Pohjaveden kloridipitoisuuden ja pohjaveden muodostumispinta-alan välinen korrelaatio on $-0,123$ ja p-arvo $0,000$.

Pohjavesialueet voidaan luokitella pieniin (alle 1 km^2), keskikokoisiin ($1\text{--}10 \text{ km}^2$), suuriin ($10\text{--}50 \text{ km}^2$) ja erittäin suuriin (yli 50 km^2) alueisiin sekä kokonaispinta-alan että muodostumispinta-alan osalta. Luokittelun avulla pyritään erottamaan etenkin ääripäiden eli pienten ja erittäin suurten pohjavesialueiden kloridipitoisuseroja, sekä vertailemaan niitä keskikokoisten ($1\text{--}10 \text{ km}^2$) pohjavesialueiden kloridipitoisuuksiin. Eri kokoluokkiin luokiteltujen pohjavesialueiden kloridipitoisuudet on esitetty laatikkojanadiagrammeissa (Kuvat 33 ja 35).

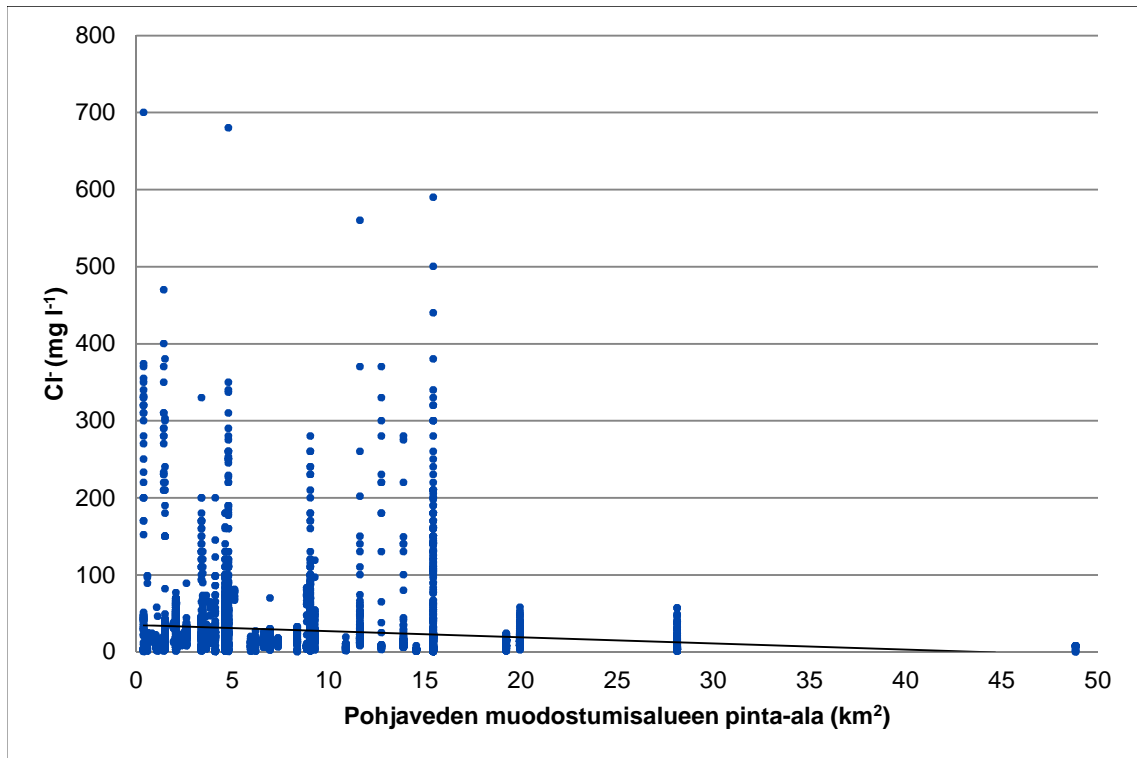
Kokonaispinta-alaltaan pienten pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien mediaani on 20 mg l^{-1} (ka 64 mg l^{-1}). Keskikokoisten pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien mediaani 18 mg l^{-1} (ka 31 mg l^{-1}). Suurten pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien mediaani on 12 mg l^{-1} (ka 22 mg l^{-1}). Erittäin suurten pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien mediaani on 7 mg l^{-1} (ka 5 mg l^{-1}). Pienten ja erittäin suurten pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien mediaanien ero on 13 mg l^{-1} .



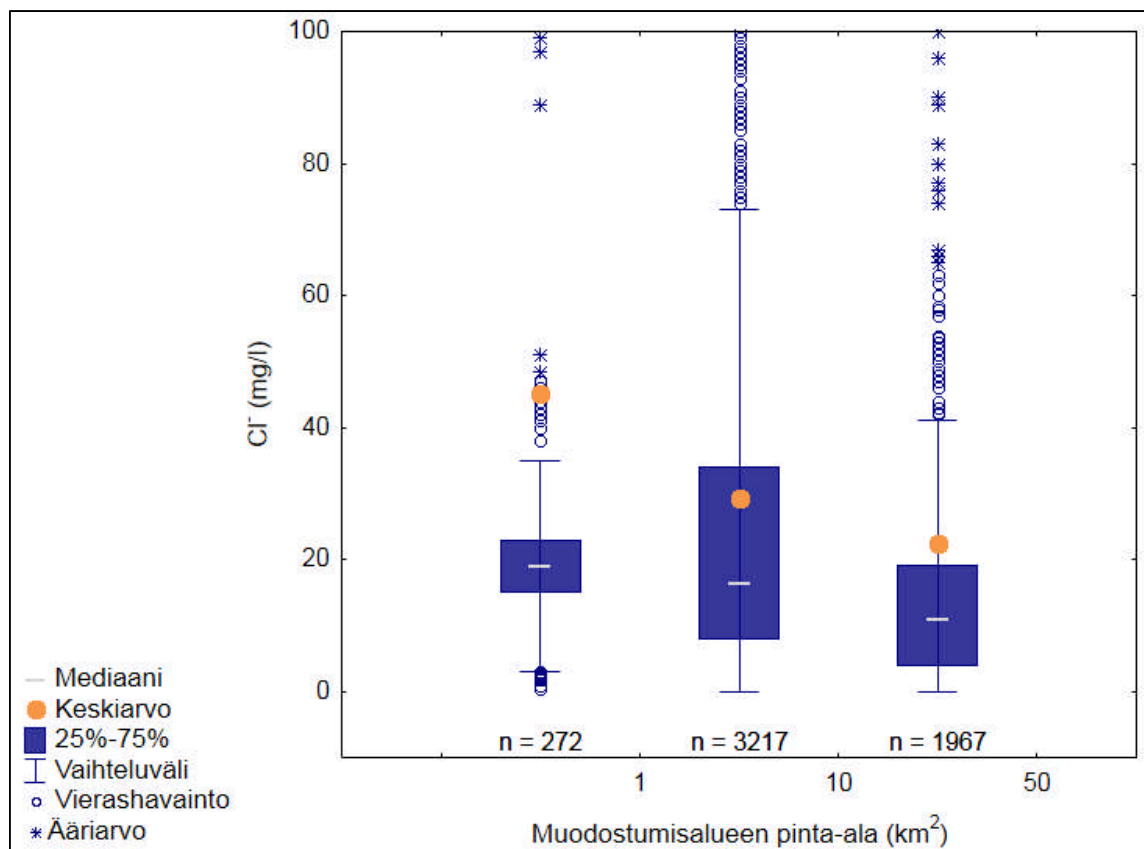
Kuva 32. Pohjaveden kloridipitoisuuden suhde pohjavesialueen kokonaispinta-alaan. $n = 5456$.



Kuva 33. Pohjaveden kloridipitoisuuden vaihtelu eri kokoluokan pohjavesialueilla. Luokat ovat 0–1 km², 1–10 km², 10–50 km² ja yli 50 km². Kuva on rajattu kloridipitoisuustasolle 0–100 mg l⁻¹, joten osa vierashavainnoista ja ääriarvoista ei näy kuvassa. $n = 5456$.



Kuva 34. Pohjaveden kloridipitoisuuden suhde pohjaveden muodostumisalueen pinta-alaan. $n = 5456$.

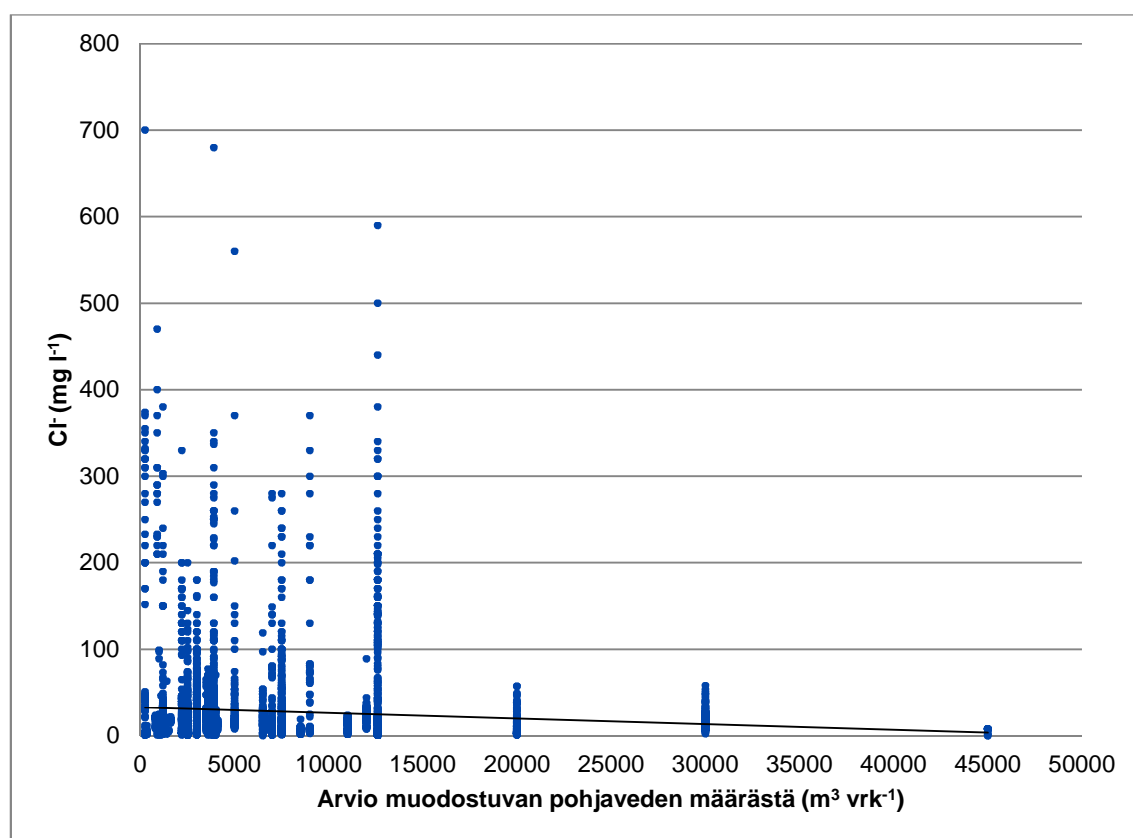


Kuva 35. Pohjaveden kloridipitoisuuden vaihtelu eri kokoluokan pohjaveden muodostumisalueilla. Luokat ovat 0–1 km², 1–10 km² ja 10–50 km². Kuva on rajattu kloridipitoisuustasolle 0–100 mg l⁻¹, joten osa vierashavainnoista ja ääriarvoista ei näy kuvassa. $n = 5456$.

Muodostumispinta-alaltaan pienten pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien keskiarvo on 45 mg l^{-1} ja mediaani on 19 mg l^{-1} . Muodostumispinta-alaltaan keskikokoisten pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien keskiarvo on 30 mg l^{-1} ja mediaani $16,5 \text{ mg l}^{-1}$. Muodostumispinta-alaltaan suurten pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien keskiarvo on 22 mg l^{-1} ja mediaani 11 mg l^{-1} . Muodostumispinta-alaltaan pienten ja suurten pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien mediaanien ero on 8 mg l^{-1} .

7.8.2. Muodostuvan pohjaveden määrä ja maaperän imeytymiskerroin

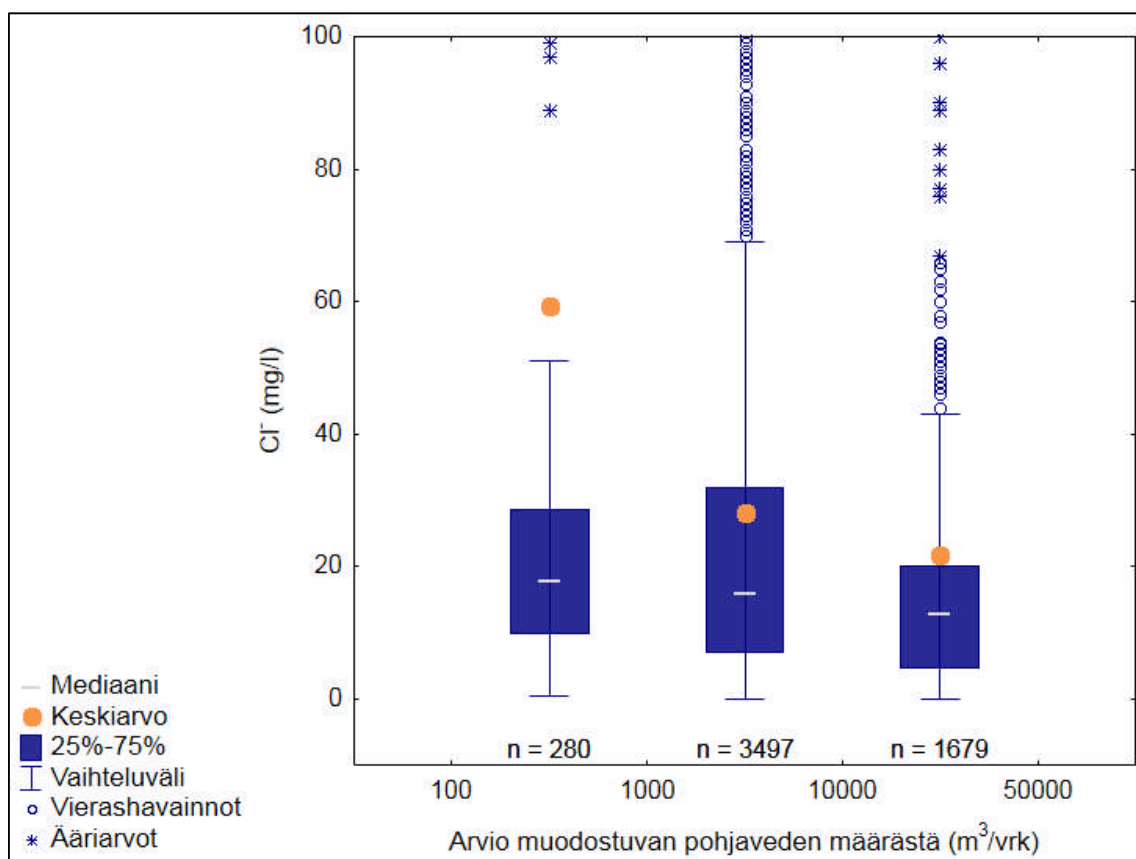
Tutkimuksessa mukana olevilla pohjavesialueilla muodostuvan pohjaveden määrä on arviolta $250\text{--}45\,000 \text{ m}^3 \text{ vrk}^{-1}$. Keskimääräinen pohjaveden muodostumismäärä on noin $5800 \text{ m}^3 \text{ vrk}^{-1}$. Muodostuvan pohjaveden määrällä on tilastollinen yhteys kloridipitoisuuksien kanssa (Kuva 36). Pearsonin korrelaatiokerroin on $-0,112$ ja p-arvo $0,000$.



Kuva 36. Pohjaveden kloridipitoisuuden suhde muodostuvan pohjaveden määrään. $n = 5456$.

Pohjavesialueet on jaettu kolmeen luokkaan pohjaveden muodostumismäärän perusteella. Tämän aineiston pohjavesialueet jakautuvat alueisiin, joissa pohjaveden

muodostumismäärä on 1) 100–1 000 m³ vrk⁻¹, 2) 1 000–10 000 m³ vrk⁻¹ ja 3) 10 000–50 000 m³ vrk⁻¹. Luokkien avulla pyritään vertailemaan muodostumismäärältään eri ääripäiden pohjavesialueiden välisiä eroja. Luokkakohtaiset pohjaveden kloridipitoisuudet on esitetty laatikkojanadiagrammissa (Kuva 37).



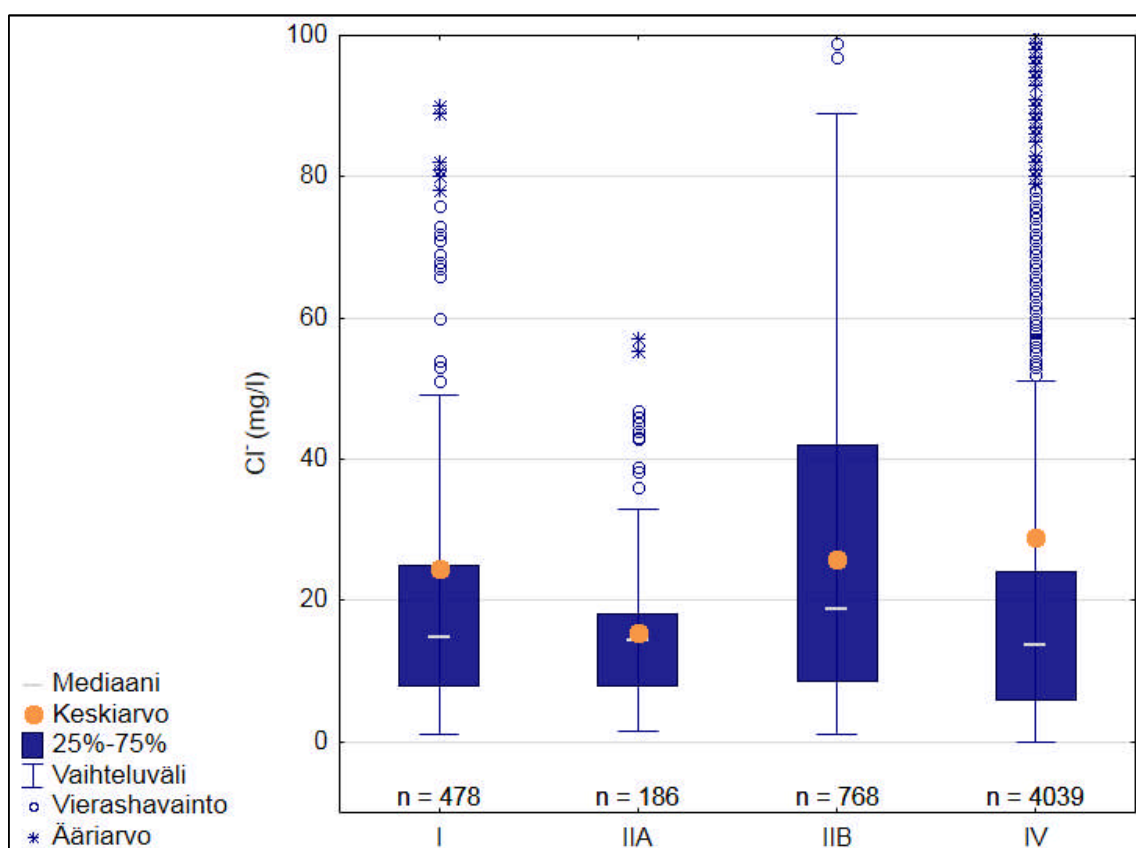
Kuva 37. Pohjaveden kloridipitoisuudet pohjavesialueilla, joissa pohjaveden muodostumismäärä on 1) 100–1 000 m³ vrk⁻¹, 2) 1 000–10 000 m³ vrk⁻¹ ja 3) 10 000–50 000 m³ vrk⁻¹. Kuva on rajattu kloridipitoisuustasolle 0–100 mg l⁻¹, joten osa vierashavainnoista ja ääriarvoista ei näy kuvassa. n = 5456.

Maaperän imeytymiskerroin vaihtelee tutkimusalueen pohjavesialueilla 0,3–0,6. Imeytymiskertoimen ja pohjaveden kloridipitoisuuksien välillä ei kuitenkaan ole tämän aineiston perusteella tilastollista merkitsevyyttä (p-arvo on 0,873).

7.8.3. Teoreettiset tyyppimuodostumat

Teoreettiset tyyppimuodostumat perustuvat Hännisen et al. (1994) luokitteluun. Tutkimusalueella esiintyviä tyyppimuodostumia ovat (I) matalaan veteen kerrostunut ympäristöönsä vettä purkava pitkittäisharju, (IIA) syvään veteen kerrostunut

ympäristöön vettä purkava pitkittäisharju, (IIB) syvään veteen muodostunut ympäristöstään vettä keräävä pitkittäisharju ja (IV) Salpausselkätyyppinen reunamuodostuma. Tämän aineiston perusteella korkeimmat pohjaveden kloridipitoisuudet esiintyvät tyypin IIB eli syvään veteen muodostuneissa ympäristöstään vettä keräävissä pitkittäisharjuissa, joissa pohjaveden kloridipitoisuuksien mediaani on 19,0 mg l⁻¹ ja keskiarvo 25,8 mg l⁻¹ (Kuva 38). Alhaisimmat kloridipitoisuudet ovat tyypin IIA eli syvään veteen muodostuneissa ympäristöön vettä purkavissa pitkittäisharjuissa, joissa pohjaveden kloridipitoisuuksien mediaani on 14,5 mg l⁻¹ ja keskiarvo 15,4 mg l⁻¹.

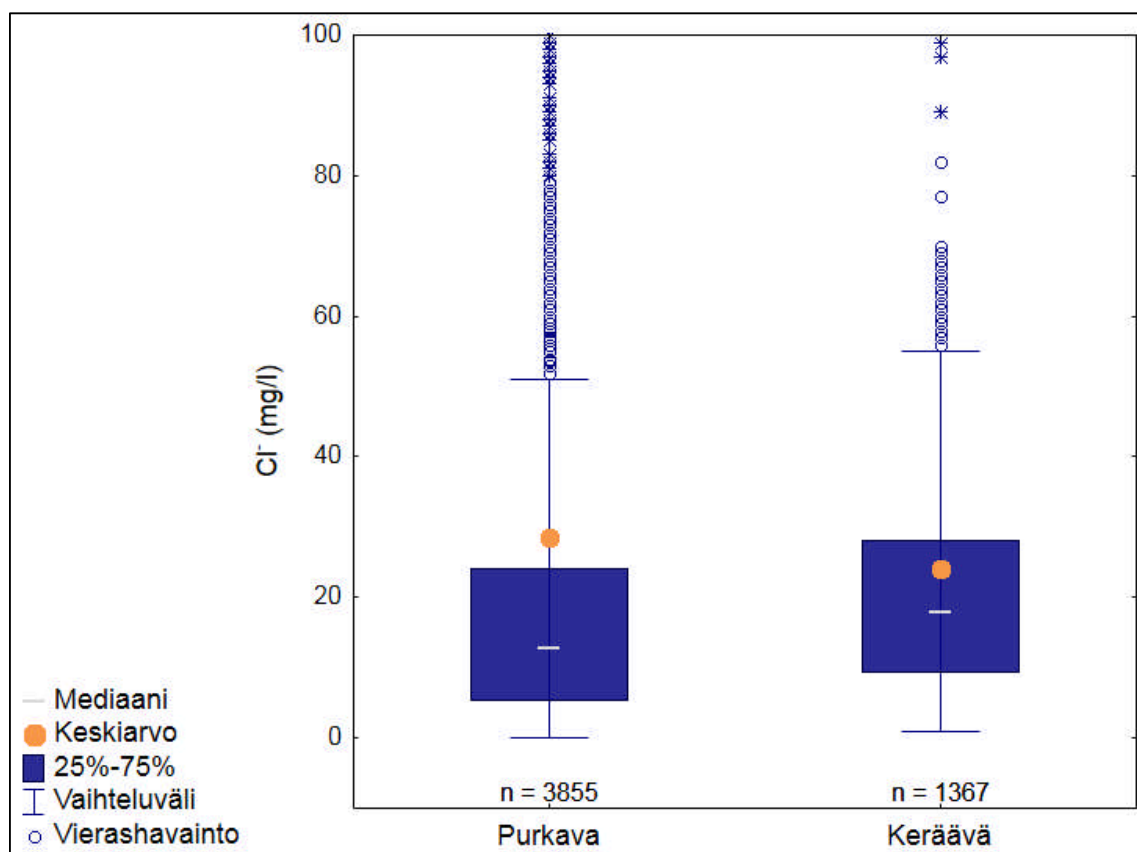


Kuva 38. Pohjaveden kloridipitoisuudet luokiteltuina teoreettisen geologisen tyyppimuodostuman mukaan. Kuva on rajattu kloridipitoisuustasolle 0-100 mg l⁻¹, joten osa vierashavainnoista ja ääriarvoista ei näy kuvassa. n = 5471.

7.8.4. Pohjavesialueen antikliinisuus/synkliinisyys

Pohjavesialueet voidaan jakaa antikliinisiin ja synkliinisiin sen perusteella, purkavatko vai keräävätkö ne vettä ympäristöstään (Kuva 39). Tässä aineistossa ympäristöön vettä purkavissa eli antikliinisissä muodostumissa kloridipitoisuuksien mediaani on 13

mg l^{-1} ja ympäristöstään vettä keräävien eli synkliinisten muodostumien kloridipitoisuuksien mediaani on 18 mg l^{-1} . Ympäristöstään vettä keräävillä pohjavesialueilla esiintyy tilastollisessa tarkastelussa suurempia kloridipitoisuuksia kuin ympäristöönsä vettä purkavilla pohjavesialueilla.



Kuva 39. Pohjavesialueen veden purkavuuden ja keräävyyden vaikutus pohjavesien kloridipitoisuuksiin. Kuva on rajattu kloridipitoisuustasolle $0\text{--}100 \text{ mg l}^{-1}$, joten osa vierashavainnoista ja ääriarvoista ei näy kuvassa. $n = 5222$.

7.9. Vedenoton vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin

Vedenoton ja pohjaveden kloridipitoisuuksien välillä ei tämän aineiston perusteella ole tilastollisesti merkitsevää yhteyttä.

7.10. Usean muuttujan regressioanalyysi

Eri muuttujien osuutta sekä yhteisvaikutusta pohjavesien kloridipitoisuuksiin tutkittiin regressioanalyysiin avulla. Taulukossa 7 on esitetty mallin 1 tulokset. Selittäviksi tekijöiksi valittiin sellaisia muuttujia, jotka eivät vaihtelee lyhyellä aikavälillä. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi pohjavesialueen koko tai tien sijainti pohjaveden muodostumisalueella. Tässä mallissa ei ole mukana suolaus- tai luiskasuojauksietietoja, koska suolausmäärät vaihtelevat vuosittain ja luiskasuojauksien rakentamisesta on monissa tapauksissa kulunut vasta hyvin lyhyt aika. Mallin selitysaste on 0,071 eli noin 7 %. Estimaatin keskivirhe on 47,197. Mallin mukaan selittävien muuttujien ja pohjaveden kloridipitoisuuksien välinen regressiokerroin on 0,266 ja eniten pohjavesien kloridipitoisuuksiin vaikuttavat tien ja havaintopisteen välinen etäisyys (betakerroin -0,17), muodostuman veden kerävyys eli synkliinisyys (betakerroin 0,17), pohjavesialueen kokonaispinta-ala (betakerroin -0,15) ja pohjaveden muodostumispinta-ala (betakerroin -0,11).

Taulukossa 8 on esitetty toinen malli, johon on valittu selittäviä muuttujia siten, että mallin selitysaste on mahdollisimman suuri. Tämä malli selittää noin 15 % havaituista pohjaveden kloridipitoisuuksista ($R^2 = 0,15$). Selittävien muuttujien ja pohjaveden kloridipitoisuuksien välinen regressiokerroin on 0,39. Havaintoja on huomattavasti vähemmän ($n = 1077$) kuin edellä kuvatussa mallissa. Yhtenä selittävänä muuttujana on tiehoitoluokkaan perustuva tiesuolausmäärä, josta on tietoja ainoastaan vuoden 2004 jälkeen. Tämän vuoksi esimerkiksi aiempia kloridihavaintoja ei tässä mallissa ole mukana. Estimaatin keskivirhe on samaa suuruusluokkaa kuin ensimmäisessä mallissa.

Toisen mallin mukaan eniten pohjavesien kloridipitoisuuksiin vaikuttavat pohjavesialueen synkliinisyys eli veden kerävyys (betakerroin 0,54), tiivistetty maakerros tien pohjavesisuojausmenetelmänä (betakerroin 0,23), teoreettinen geologinen tyyppimuodostuma IV eli Salpausselkätyyppinen reunamuodostuma (betakerroin 0,22), pohjavesialueen antiklinisuus (betakerroin 0,19) sekä tien ja havaintopisteen välisen etäisyys (betakerroin -0,11).

Taulukko 7. Usean muuttujan regressioanalyysin tulokset (malli 1). Tässä mallissa selittäviksi muuttujiksi on valittu sellaisia muuttujia, jotka eivät vaihteile lyhyen ajan sisällä.

N = 5456	R = 0,266 R ² = 0,071 Korjattu R ² = 0,069					
	F = 34,512 df = 12,455 p = 0,0000					
	Estimaatin keskivirhe 47,197					
	Beta eli normitettu regressiokerroin	Betan keskivirhe	Regressiokerroin	Regressiokertoimen keskivirhe	t-arvo	p-arvo
Intercept			29,50344	4,330049	6,8137	0,000000
Synklininen	0,168184	0,046096	18,97965	5,201998	3,6485	0,000266
Tie on rakennettu pohjavesialueelle pitkästä	0,086167	0,020317	10,29860	2,428281	4,2411	0,000023
Geologinen tyyppimuodostuma IIA	0,081297	0,018728	22,81647	5,256228	4,3408	0,000014
Antiklininen	0,076922	0,031080	8,26109	3,337925	2,4749	0,013357
Geologinen tyyppimuodostuma IV	0,069536	0,029369	7,75508	3,275444	2,3676	0,017937
Tien ja havaintopisteen välinen etäisyys	-0,173699	0,015824	-0,01374	0,001252	-10,9770	0,000000
Kokonaispinta-ala	-0,153729	0,058812	-0,63907	0,244488	-2,6139	0,008976
Muodostumispinta-ala	-0,111727	0,046161	-0,72654	0,300178	-2,4204	0,015538
Tiellä ei pohjavesisuojausta	-0,081962	0,014132	-8,46103	1,458910	-5,7996	0,000000
Geologinen tyyppimuodostuma IIB	-0,054051	0,027046	-7,60016	3,803041	-1,9984	0,045718
Tie sivuaa pohjavesialuetta*	0,010752	0,016453	2,03366	3,112013	0,6535	0,513470
Arvio muodostuvan pohjaveden määrästä*	0,074320	0,065057	0,00043	0,000377	1,1424	0,253345

* Ei tilastollista merkitsevyyttä

Taulukko 8. Usean muuttujan regressioanalyysin tulokset (malli 2). Tähän malliin on valittu selittävät muuttujat siten, että mallin selitysaste (R^2) on mahdollisimman korkea.

N=1077	R= 0,386 $R^2 = 0,149$ Korjattu $R^2 = 0,135$					
	F = 10,901 df = 17,106 p = 0,0069					
	Estimaatin keskivirhe = 55,792					
	Beta eli normitettu regressiokerroin	Betan keskivirhe	Regressiokerroin	Regressiokertoimen keskivirhe	t-arvo	p-arvo
Intercept			-101,954	37,69489	-2,70473	0,006946
Synklininen	0,536503	0,105963	111,869	22,09508	5,06309	0,000000
Tiivistetty maakerros	0,227674	0,041665	72,200	13,21281	5,46440	0,000000
Tyypimuodostuma IV	0,218359	0,098936	35,098	15,90245	2,20709	0,027522
Antiklininen	0,192941	0,057360	30,944	9,19945	3,36367	0,000797
Ei suojausta	0,185258	0,065310	22,396	7,89545	2,83659	0,004647
Imeytymiskerroin	0,157598	0,072129	126,117	57,72092	2,18494	0,029112
Bentoniittimatto ja muovi	0,145164	0,062987	20,506	8,89768	2,30467	0,021378
Tie on rakennettu pohjavesialueelle pitkittäisesti	0,114021	0,051949	14,936	6,80481	2,19489	0,028388
Tien ja havaintopisteen välinen etäisyys	-0,108080	0,038086	-0,012	0,00438	-2,83783	0,004629
Suolausmäärä t/km/v*	0,055635	0,038119	0,925	0,63381	1,45952	0,144719
Muodostumisalueen pinta-ala*	0,447338	0,265330	3,064	1,81740	1,68597	0,092096
Tyypimuodostuma IIA*	0,199331	0,111575	38,271	21,42194	1,78653	0,074300
Bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto)*	0,052514	0,056639	7,523	8,11407	0,92718	0,354043
Tyypimuodostuma IIB*	0,024800	0,045172	11,932	21,73385	0,54902	0,583110
Tie sivuaa pohjavesialuetta*	-0,011740	0,035365	-4,211	12,68441	-0,33197	0,739980
Kokonaispinta-ala*	-0,360888	0,374356	-1,709	1,77271	-0,96402	0,335254
Arvio muodostuvan pohjaveden määrästä*	-0,481663	0,310973	-0,003	0,00216	-1,54889	0,121706

* Ei tilastollista merkitsevyyttä

8. TULOSTEN TARKASTELU

8.1. Pohjaveden kloridipitoisuustrendit koko seurantahistorian ajalta

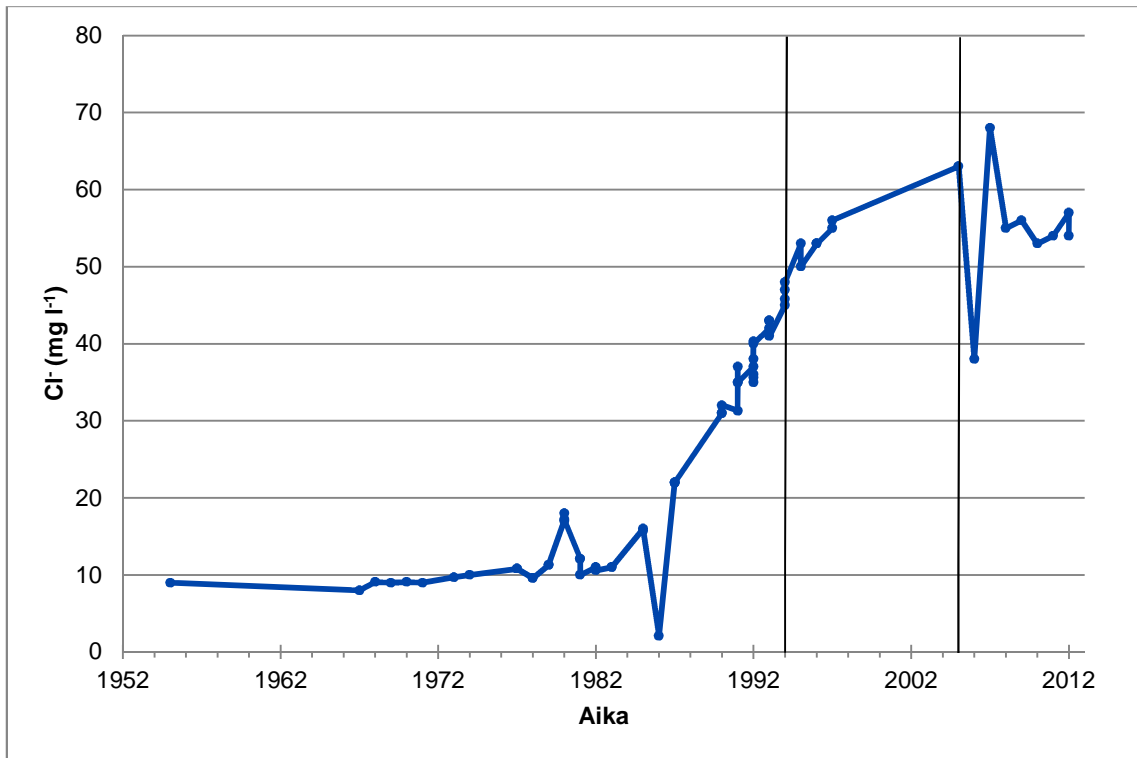
Pohjaveden kloridipitoisuuden vaihtelu voi olla suurta eri vuosina ja vuodenaikoina. Yksittäisiä kloridipitoisuusarvoja tarkasteltaessa voi vaikuttaa siltä, ettei pitoisuus ole kehittymässä mihinkään tiettyyn suuntaan. Trendin avulla vaihtelevastakin aineistosta voidaan saada yleiskäsitys siitä, mihin suuntaan pitoisuudet ovat kehittyneet. Kloridipitoisuustrendi on määritetty erikseen jokaiselle havaintopisteelle. Kloridipitoisuustrendin luotettavuuteen vaikuttavat esimerkiksi seuranta-aika ja analyysitulosten määrä, jotka vaihtelevat suuresti eri havaintopisteiden välillä. Eri havaintopisteiden trendejä ei tämän vuoksi voi suoraan vertailla keskenään. Havaintopistekohtaiset tiedot seuranta-ajoista, analyysitulosten määristä ja tilastollisista tunnusluvuista on koottu Liitteeseen 2. Kuvassa 13 on esitetty yhteenveto havaintopisteiden kloridipitoisuustrendeistä koko seurantahistorian ajalta.

Koko seurantahistoriaa tarkasteltaessa noin puolessa (49 %) tutkimuksessa mukana olevassa seurantapisteessä kloridipitoisuustrendi on nouseva tai voimakkaasti nouseva. Trendien kehitys on jaoteltu luokkiin siten, että nouseva trendi tarkoittaa pitoisuuksien nousua samassa pitoisuusluokassa ja voimakkaasti nouseva pitoisuuksien nousua yhtä tai useampaa suurempaan pitoisuusluokkaan.

Seurannan aloitushetki vaikuttaa trendeihin. Jos seuranta on aloitettu varhain, ennen merkkejä kloridipitoisuuden noususta, koko seurantahistorian trendi antaa hyvin kuvan kloridipitoisuuksien kehityksestä. Jos seuranta on aloitettu vasta, kun pitoisuudet ovat jo selvästi luonnontilaisesta poikkeavia, pitoisuuksien kasvu ei aina näytä olevan merkittävää, koska alkutilanteen pitoisuudet ovat jo korkeita. Trendin lisäksi on kiinnitettävä huomiota seurannan aloitusvuoteen, analyysitulosten lukumäärään, minimi- ja maksimiarvoihin sekä keskiarvoon. Luotettavimpia trendejä ovat sellaisten havaintopisteiden trendit, joissa seuranta on aloitettu ennen tiesuolauksen yleistymistä ja analyysitulosten lukumäärä on suuri. Koko seurantahistorian trendi kuvaa kloridipitoisuuksien kehityksen nimenomaan koko seurantahistorian ajalta nykyhetkeen asti.

Vuonna 1999 julkaistussa ensimmäisen Salpausselän alueen kloridipitoisuustutkimuksessa (Nystén et al. 1999) kloridipitoisuudet olivat nousseet 27 %:ssa ja laskeneet 12 %:ssa niissä havaintopisteistä, joista trendi pystyttiin määrittämään. Vielä 1990-luvulla havaintopistekohtaiset kloridipitoisuussarjat olivat lyhyitä, ja vuoden 1999 aineiston havaintopisteistä jopa 34 %:ssa oli havaintoja niin vähän, ettei trendiä pystytty määrittämään. Pohjavesien seuranta on tehostunut 2000-luvulla, joten tähän aineistoon on ollut mahdollista valita vain sellaisia havaintopisteitä, joissa havaintojen määrä on riittävä trendin arvioimiseen. Vuonna 1999 julkaistussa raportissa oli runsaasti myös sellaisia havaintopisteitä (61 %), joissa kloridipitoisuuksissa ei ollut havaittavissa nousua eikä laskua seurantahistorian aikana. Tässä tutkimusaineistossa vastaavia havaintopisteitä oli 11 %. Vuoden 1999 tutkimuksessa trendi määritettiin yhteensä 233 havaintopisteelle, ja tässä tutkimuksessa 178 havaintopisteelle. 26 % vuoden 1999 tutkimuksen havaintopisteistä on mukana myös tässä aineistossa. Koko seurantahistoriaa tarkasteltaessa sekä kasvavat että laskevat kloridipitoisuustrendit ovat yleistyneet ensimmäisen Salpausselän alueen pohjavesissä verrattaessa tätä aineistoa vuoden 1999 aineistoon. Havaintopisteet, joissa ei ole tapahtunut kloridipitoisuuden nousua eikä laskua, ovat vähentyneet. Nykyisin trendien määrittäminen on tullut aiempaa luotettavammaksi havaintojen kokonaismäärän ja näytteenottotiheyden lisäämisen myötä.

Trendi voidaan määrittää myös lyhyemmille ajanjaksoille kuin koko seurantahistorian ajalle. Eri aikakausien trendien tarkastelusta voi olla hyötyä tutkittaessa esimerkiksi luiskasuojauksen rakentamisen vaikutusta pohjaveden kloridipitoisuuteen. Esimerkiksi Luumäen Taavetin vedenottamolla kloridipitoisuus on ollut tasainen vuosina 1955–1978. Vuosina 1980–2007 kloridipitoisuustrendi on ollut voimakkaasti kasvava, ja vuosina 2007–2012 laskeva (Kuva 40). Vuosina 1993–1994 rakennettu luiskasuojaus ei vaikuttanut pohjaveden kloridipitoisuustrendiin, vaan kloridipitoisuudet jatkoivat kasvuaan. Vuonna 2005 rakennettu luiskasuojaus on saattanut vaikuttaa kloridipitoisuuksiin myönteisesti. Kaliumformiaatin käytön aloittaminen vuonna 2010 todennäköisesti laskee pohjaveden kloridipitoisuuksia tulevana vuosina.



Kuva 40. Pohjaveden kloridipitoisuudet Taavetin vedenottamolla 1955–2012. Läheiselle valtatie 6:lle on rakennettu luiskasuojaus vuosina 1993–1994 ja valtatie 26:lle vuonna 2005. Luiskasuojauksen rakentamisajankohta on esitetty pystyviivalla. Kaliumformiaatin käyttö alueella on aloitettu vuonna 2010 (Salminen et al. 2010).

8.2. Tiesuolausmäärän vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin

Tiesuolauksen määrällä on aineiston perusteella positiivinen korrelaatio sekä pitkän aikavälin keskiarvojen että jo saman talvikauden aikana mitattujen pohjaveden kloridipitoisuuksien kanssa. Pitkänajan keskiarvojen perusteella tiesuolauksen ja pohjaveden kloridipitoisuuksien välinen Pearsonin korrelaatiokerroin on 0,18 ja p-arvo 0,01. Saman vuoden aikana käytetyn tiesuolan ja mitattujen pohjaveden kloridipitoisuuksien välinen Pearsonin korrelaatiokerroin on 0,11 ja p-arvo 0,000. Tien talvihoitoluokkaan pohjautuva tieto suolausmäärästä on yleistävä. Yksittäisillä teillä tai pohjavesialueilla käytetyn suolan määrää ei nykyisin tilastoida. Jos käytetyn suolan määrä tilastoitaisiin nykyistä tarkemmin, suolan kokonaiskäyttömäärän vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuteen olisi mahdollista selvittää tarkemmin.

8.3. Pohjaveden kloridipitoisuudet eri ajanjaksoina

Suolauskäytäntöjen ajanjaksojen luokittelu perustuu valtakunnallisen tiesuolan kokonaiskäyttömäärään muutoksiin. Vastaavaa luokittelua on aiemmin käytetty Nysténin et al. (1999) kloriditutkimuksessa. Suolauskäytäntöjen ajallinen kehitys ei välttämättä ole yhteneväinen kaikkien tiepiirien tai urakka-alueiden alueilla tai yksittäisillä pohjavesialueilla. Eri ajanjaksot ovat 1959–1987, 1988–1992, 1993–1998, 1999–2006 ja 2007–2014.

Ennen 1980-lukua suolausmäärät olivat Suomessa melko vähäisiä, keskimäärin noin 25 000 tonnia vuodessa. Tieverkosto oli nykyistä suppeampi ja liikennemäärät vähäisempiä. 1980-luvulla suolan kokonaiskäyttömäärä alkoi kasvaa, ja vuonna 1988 tapahtui huomattava tiesuolan kokonaiskäyttömäärän lisääntyminen. Vuosina 1988–1992 suolaa käytettiin keskimäärin 129 000 tonnia vuodessa, mikä oli yli puolet enemmän kuin 1980-luvun alussa. Vuosina 1993–1999 suolausmäärä oli keskimäärin noin 100 000 tonnia vuodessa. Vuoden 1999 jälkeen käynnistettiin joitakin suolauksen vähentämiskokeiluhankkeita ja vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kokeilujaksoja (Angervuori et al. 2004, Salminen et al. 2010). Suolausmäärä oli keskimäärin 86 000 tonnia vuodessa vuosina 1999–2006. Vuoden 2006 jälkeen suolausmäärät ovat yhä laskeneet valtakunnallisella tasolla. Vuosina 2007–2014 suolausmäärä oli keskimäärin 84 000 tonnia vuodessa.

Tiesuolausmäärien muutosten perusteella testattiin, onko myös pohjavesien kloridipitoisuuksissa nähtävissä erilaisia trendejä eri suolausajanjaksojen seurauksena. Kloridipitoisuustrendit muuttuvat viiveellä suolauskäytäntöjen muutoksiin nähden. Kloridipitoisuustrendit eivät aiempien tutkimusten (Nystén et al. 1999) mukaan yleensä ehdi muuttua saman suolausajanjakson aikana.

Pohjaveden kloridipitoisuuksia eri aikakausina tutkittiin tilastollisesti summafrekvenssiprosentin avulla. Summafrekvenssiprosenttitarkastelun perusteella ensimmäisen Salpausselän alueen pohjavesien kloridipitoisuuksien mediaani oli pienimmillään ajanjaksoina 1955–1987 ja 1988–1992 ja suurimmillaan ajanjaksolla 1993–1998. 2000-luvulla kloridipitoisuuksien mediaani on hieman laskenut. Summafrekvenssiprosentin käyrän muoto kuvastaa ajanjakson kloridipitoisuuksien

hajontaa. S-kirjainta muistuttava käyrä kertoo kloridipitoisuuksien keskittymisestä tiettyihin pitoisuuksiin. Loivempi, suoraa muistuttava käyrä kertoo kloridipitoisuuksien jakaantumisesta tasaisemmin eri pitoisuuksien välille. Ajanjakson 1988–1992 käyrä on eniten S-kirjaimen muotoinen eli pitoisuuksien hajonta on pienin. Viimeisimmän suolausajanjakson aikana vuosina 2007–2014 käyrä on loivin eli pitoisuuksien hajonta on suurimmillaan.

Pohjaveden kloridipitoisuuksien hajonnan kasvuun on osaltaan vaikuttanut havaintopisteiden sekä kloridipitoisuushavaintojen määrän kasvattaminen 2000-luvulla. Kloridipitoisuus on myös noussut osassa pohjavesimuodostumissa pitkäaikaisen tiesuolauksen vaikutuksesta. Summafrekvenssiprosentin mukaan luonnontilaiset kloridipitoisuudet ovat yleistyneet ja suuret kloridipitoisuudet vähentyneet 1990-luvun jälkeen.

8.4. Kloridipitoisuuksien kehitys eri pitoisuusluokissa 2000-luvulla

Kloridipitoisuuksien kehitystä eri pitoisuusluokissa tarkasteltiin vuosilta 1999–2013. Havaintopisteet luokiteltiin kolmeen pitoisuusluokkaan ajanjakson 1999–2004 ensimmäisen seurantavuoden keskiarvon perusteella. Tämän ajanjakson ensimmäisen seurantavuoden keskiarvo kuvastaa havaintopisteen kloridipitoisuustasoa 2000-luvun alussa. Ensimmäinen seurantavuosi saattaa tässä yhteydessä olla mikä tahansa vuosi vuosien 1999 ja 2004 väliltä, eikä havaintopisteiden vuotta 1999 vanhempia kloridihavaintoja ole huomioitu tarkastelussa. Tarkastelussa oli yhteensä 149 havaintopistettä, joista on määritetty kloridipitoisuuksia 2000-luvun alussa.

Kloridipitoisuusluokkiin jaon jälkeen havaintopisteiden kloridipitoisuuden kehitystä tarkasteltiin vuosimediaanien avulla. Kehityksen suuntaa voisi myös tarkastella vuosikeskiarvojen perusteella, jolloin kehityksen suunta on sama mutta muutokset ovat suurempia ja yksittäisten havaintopisteiden muutokset voivat vaikuttaa voimakkaammin.

Pienimpien pitoisuuksien luokassa (0–9,99 mg l⁻¹) kloridipitoisuuksien mediaani on noussut 2000-luvulla noin 2 mg l⁻¹. 10–24,99 mg l⁻¹ pitoisuuksien luokassa

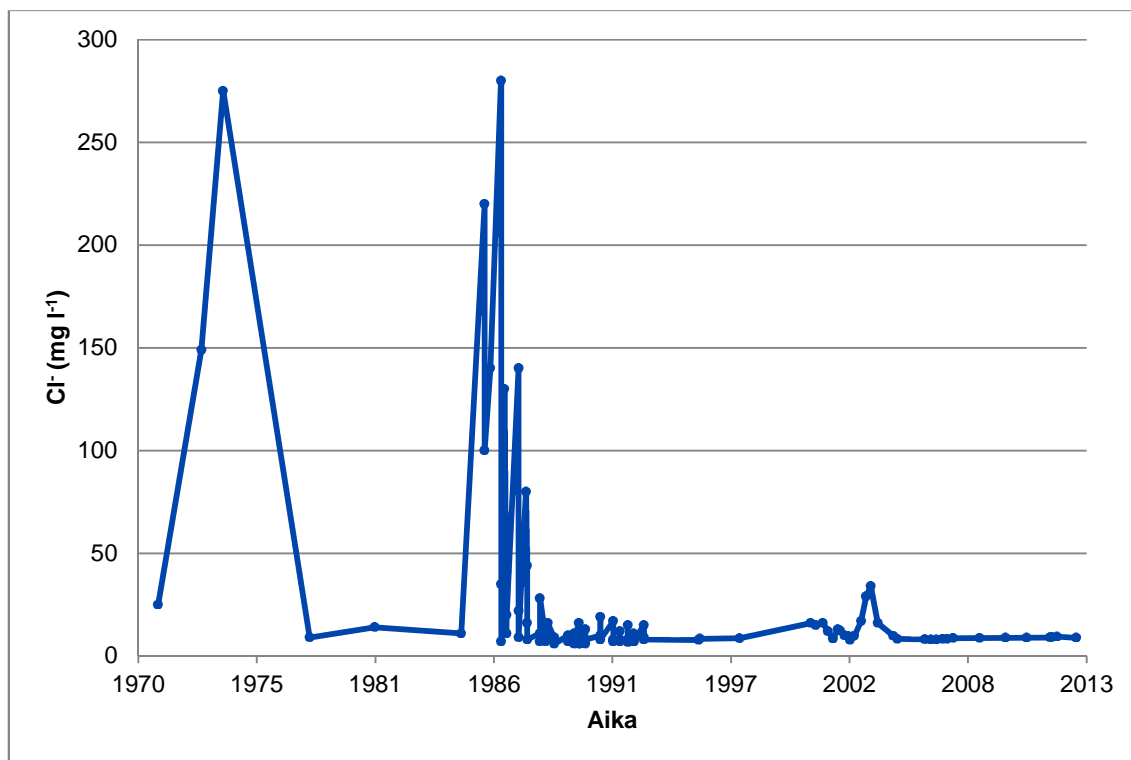
kloridipitoisuuksien mediaani on laskenut noin 3–4 mg l⁻¹. Suurimpien pitoisuuksien luokassa (≥ 25 mg l⁻¹) kloridipitoisuuksien mediaani on laskenut noin 6 mg l⁻¹.

Luonnontilaista pitoisuutta suuremmissa pitoisuusluokissa keskimääräinen kloridipitoisuuden trendi on laskeva 2000-luvulla. Tämä on seurausta pohjaveden suojelutoimenpiteiden keskittämisestä pohjavesialueille, joissa on havaittu kohonneita kloridipitoisuuksia. Paikallisella tasolla pohjavesialueen kloridipitoisuudet voivat yhä olla korkeita ja vaatia pohjaveden suojelun lisätoimenpiteitä. Kloridipitoisuuksien nousu luonnontilaisten pitoisuuksien luokassa (0–9,99 mg l⁻¹) kertoo aiemmin tiesuolauksen haitoilta välttyneiden pohjavesialueiden suolaantumisesta 2000-luvun aikana.

8.5. Alueelliset erot pohjaveden kloridipitoisuuksissa

Pohjaveden kloridipitoisuuksissa on alueellisia eroja. Yleisesti ei kuitenkaan voida erottaa käytössä olevan aineiston perusteella mitään yksittäistä tekijää, joka määrittäisi alueellisen kloridipitoisuustason. Lisäksi pohjaveden kloridipitoisuudet voivat vaihdella samallakin pohjavesialueella.

Kuntien pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien välisiä eroja selittävät ennen kaikkea erot havaintojen lukumäärässä ja pohjavesialueiden geologiassa. Tiesuolauskäytännöissä ei varsinaisesti ole kuntakohtaisia eroja, sillä tiesuolaus on toteutettu aiemmin tiepiireittäin ja nykyisin urakka-alueittain, eivätkä ne noudata kuntarajoja. Tiesuolauksen vähentämiskokeiluhankkeet tai vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden käyttö eivät myöskään ole kuntakohtaisia, vaan hankkeet on kohdistuttu tiettyihin teihin tai pohjavesialueisiin. Kuntien välisten pohjaveden kloridipitoisuuserojen perusteella mahdollinen meriveden tai Litorinameren jäännössuolojen vaikutus pohjaveteen ei aiheuta laajoja yhtenäisiä alueellisia eroja rannikkoseudun ja sisämaan kohteiden välillä. Meriveden sekoittuminen pohjaveteen liiallisen vedenoton seurauksena on yleensä hetkellistä, kuten esimerkiksi Hangon Santalanrannan vedenottamolla, jossa merivettä on sekoittunut pohjaveteen kloriditulosten perusteella kahdesti (Kuva 41).



Kuva 41. Pohjaveden kloridipitoisuuskehitys Santalanrannan vedenottamolla vuosina 1970–2013. Santalanrannan vedenottamolla tiesuolaus ei ole havaittavasti vaikuttanut pohjaveden kloridipitoisuuteen. Läheiselle valtatie 25:lle rakennettiin luiskasuojaus vuonna 2001. Kloridipitoisuuden hetkellinen kohoaminen vuonna 2003 saattaa liittyä luiskasuojauksen rakentamiseen, sillä laaja-alainen maanmuokkaus saattaa hetkellisesti nostaa pohjaveden kloridipitoisuuksia.

Tarkasteltaessa Uudenmaan, Hämeen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueita pohjavesien kloridipitoisuuksien trendi on kasvava ajanjaksolla 1955–2014. Kohonneet kloridipitoisuudet ovat pääasiassa seurausta tiesuolan käytön lisääntymisestä samana ajanjaksoja, mihin ovat vaikuttaneet myös tieverkoston laajentaminen ja liikenneturvallisuuden ja teiden talvihoidon tehostaminen. Aineiston perusteella pohjavesien kloridipitoisuuksien mediaanit ovat laskeneet 2000-luvulla kaikkien kolmen ELY-keskuksen alueella. Pohjavesien kloridihavaintojen keskiarvo on kuitenkin noussut ja hajonta lisääntynyt.

Hämeen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskusten alueella kloridipitoisuuskehitys on melko yhdenmukainen, ja suurimmat kloridipitoisuudet on mitattu ajanjaksolla 1993–1998. Uudenmaan ELY-keskuksen alueella kehitys on muutoin muita vastaava, mutta varhaisimman ajanjakson 1955–1987 kloridipitoisuudet ovat selvästi korkeampia kuin muiden ELY-keskusten alueella. Tähän ovat mahdollisesti osittain syynä Hangossa sijaitsevat vedenottamot, joissa merivesi on saattanut ajoittain sekoittua pohjaveteen,

sekä muinaisen Litorinameren vaikutus. Havaintojen määrän ollessa vähäisempi yksittäisten havaintopisteiden poikkeukselliset kloridipitoisuudet vaikuttavat herkemmin tilastollisiin tunnuslukuihin.

Uudenmaan ELY-keskuksen alueella poikkeuksellisen suuria kloridipitoisuuksia ($\geq 100 \text{ mg l}^{-1}$) on mitattu sekä ennen 1980-lukua että sen jälkeen. Aivan viime vuosina poikkeuksellisen suurten kloridipitoisuustulosten lukumäärä on lisääntynyt, kun pohjavesien tilan seuranta on tehostettu. Hämeen ELY-keskuksen alueella poikkeuksellisen suuria kloridipitoisuuksia on mitattu vasta 1980-luvun lopulta alkaen. Suurimmat kloridipitoisuudet Hämeen ELY-keskuksen alueella on mitattu 2000-luvun puolivälin jälkeen. Kloridipitoisuuksien hajonta on Hämeen ELY-keskuksen alueella pienempää kuin Uudenmaan ja Kaakkois-Suomen ELY-keskusten alueella. Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella poikkeuksellisen suuria kloridipitoisuuksia on mitattu melko tasaisesti 1990-luvun alusta alkaen. Ennen 1990-lukua ääriarvoisia kloridipitoisuuksia ei Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella juurikaan esiintynyt.

8.6. Tien vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin

Aineiston perusteella havaintopisteen ja tien välinen etäisyys vaikuttaa pohjaveden kloridipitoisuuksiin. Tilastollisessa tarkastelussa etäisyyden ja kloridipitoisuuksien välinen Pearsonin korrelaatiokerroin on -0,19 ja p-arvo 0,000. Valtakunnallisessa pohjavesien kloridipitoisuuksien tarkastelussa (Hänninen et al. 1994) tulokset olivat yhteneväisiä tämän aineiston kanssa.

Tien sijainnin vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin on tilastollisesti merkitsevä (p-arvo on 0,000). Aineiston perusteella pohjavesialueilla, joilla tie on rakennettu pitkittäisesti, on havaittu suurempia kloridipitoisuuksia kuin sellaisilla pohjavesialueilla, joilla tie kulkee poikittaisesti tai sivuaa aluetta. Pearsonin korrelaatiokertoimet eivät kuitenkaan ole kovin suuria. Suurin korrelaatio on pohjaveden kloridipitoisuuden ja pitkittäisesti kulkevan tien välillä (0,10). Tässä tutkimuksessa on keskitytty havaintopiste-tiepareihin, eikä tilastollisessa tarkastelussa ole huomioitu esimerkiksi sellaista tilannetta, jossa havaintopisteen lähellä sijaitsee useita suolattavia teitä.

Ensimmäisen Salpausselän alueella tieverkosto on laaja, eikä ole poikkeuksellista, että havaintopiste sijaitsee useiden suolattavien teiden läheisyydessä.

Tien pituudella pohjaveden muodostumisalueella on tilastollinen merkitsevyys pohjaveden kloridipitoisuuksien kanssa (p-arvo on 0,000). Pearsonin korrelaatiokerroin on negatiivinen ja hyvin pieni, -0,05. Tuloksen perusteella pohjavesialueilla, joiden muodostumisalueella sijaitsee pitkä tie, havaittaisiin pieniä kloridipitoisuuksia. Tulos on epäuskottava ja voi kertoa esimerkiksi siitä, että suurinta riskiä aiheuttavan tieosan pituus ei ole yksin riittävä kuvaamaan koko tien tai tieverkoston vaikutusta pohjavesialueella. Todellisuudessa monilla pohjavesialueilla on useita suolattavia teitä ja eri tieosuuksia, jotka voivat kaikki vaikuttaa havaittuihin pohjaveden kloridipitoisuuksiin. Valtakunnallisessa pohjavesien kloridipitoisuuksien tarkastelussa (Hänninen et al. 1994) kloridipitoisuuksien ja tien pituuden välillä ei löytynyt lainkaan tilastollista riippuvuutta.

8.7. Luiskasuojauksen vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin

Tutkimusalueella 15 pohjavesialueella on rakennettu erittäin vaativa tai vaativa luiskasuojaus. Useimmilla pohjavesialueilla ei ole rakennettu luiskasuojauksia tai rakennettujen suojausten rakenne ei täytä nykyisiä vaatimuksia. Luiskasuojauksen vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin on tapauskohtaista. Luiskasuojauksen rakentaminen alkaa vaikuttaa pohjavesien kloridipitoisuuksiin yleisesti ottaen vasta muutamien vuosien viiveellä. Kloridipitoisuustaso laskee myös hyvin hitaasti. Monessa tapauksessa luiskasuojauksen rakentamisesta on niin lyhyt aika, ettei selviä vaikutuksia ole havaittavissa.

Korrelaatiotarkastelujen perusteella nykyaikaisista luiskasuojauksista suojausmenetelmällä bentoniittimatto ja muovi on tilastollisesti merkitsevä yhteys pohjaveden kloridipitoisuuden kanssa (p-arvo on 0,000). Bentoniittimaton ja muovin yhdistelmä rakenteen ja pohjaveden kloridipitoisuuksien välinen Pearsonin korrelaatiokerroin on positiivinen ja niin pieni, 0,08, ettei sen perusteella voi arvioida rakenteen toimivuutta. Bentoniittimaton ja muovin yhdistelmä on usein rakennettu alueille, joissa tiesuolauksen on havaittu nostaneen pohjavesien kloridipitoisuuksia tai

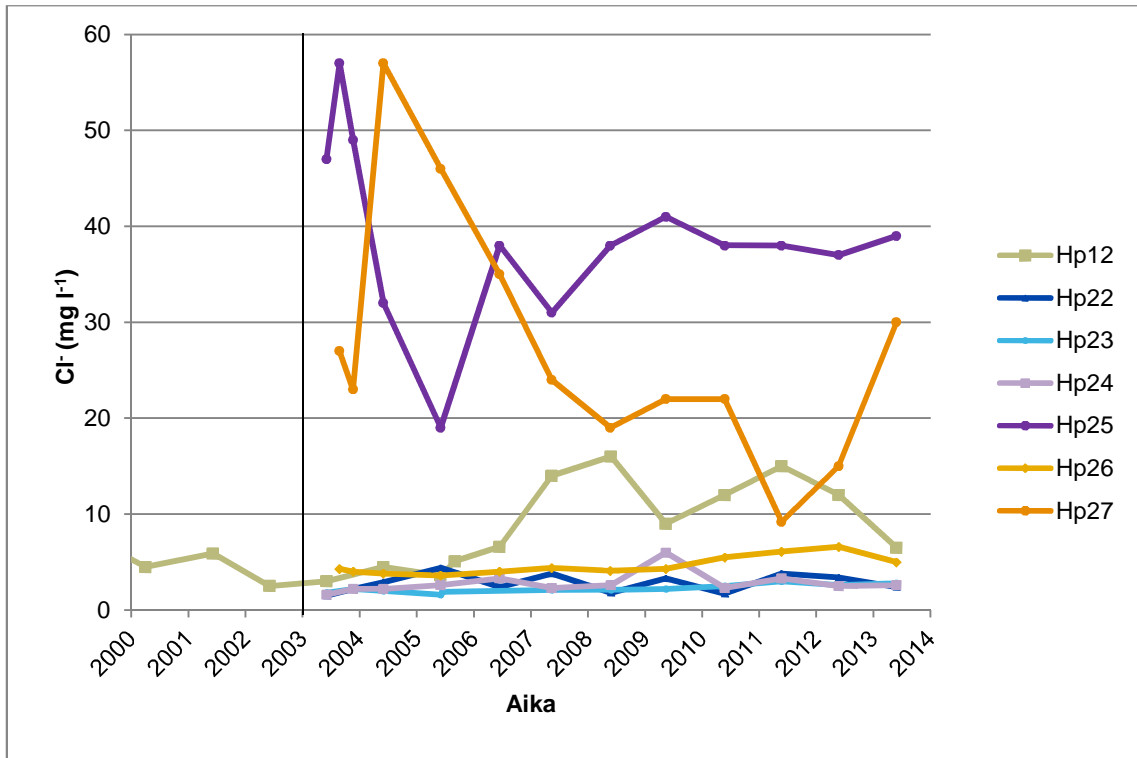
tien on arvioitu aiheuttavan suurta riskiä esimerkiksi alueen vedenottamolle. Bentoniittimaton ja muovin yhdistelmä liittyy siten suurempiin kloridipitoisuushavaintoihin, vaikka rakenne itse ei todennäköisesti aiheuta kloridipitoisuuden kasvua pohjavesissä. Toisella nykyaikaisista luiskasuojausmenetelmistä, bentoniitilla ja kuitukankailla, ei ole tilastollisesti merkitsevää yhteyttä pohjaveden kloridipitoisuuden kanssa.

Aiemmin suojausrakenteena käytetyllä tiivistetyllä maakerroksella on tilastollisesti merkitsevä yhteys havaittuihin kloridipitoisuuksiin (p-arvo on 0,000). Pearsonin korrelaatio on positiivinen, 0,12, eli tiivistetyn maakerroksen kohteissa on mitattu suurempia pohjaveden kloridipitoisuuksia. Tiivistetty maakerros ei kuitenkaan täytä nykyisiä luiskasuojauksien vaatimuksia, joten tulos on siinä mielessä uskottava.

Suojauksen puuttumisella on tilastollinen merkitsevyys (p-arvo on 0,000), mutta Pearsonin korrelaatiokerroin on negatiivinen (-0,12) eli aineiston perusteella suojaamattomissa kohteissa on havaittu pienempiä kloridipitoisuuksia. Tulos on osittain uskottava, sillä luiskasuojauksia ei ole yleensä rakennettu alueille, joissa pohjaveden kloridipitoisuustaso on luonnontilainen eikä teillä ole ollut vaikutusta pohjavesien tilaan. Tulosten perusteella luiskasuojauksien toimivuutta on korrelaatiotarkastelujen sijaan kuitenkin luotettavampaa tutkia tapauskohtaisesti esimerkiksi kloridipitoisuuden trendimuutosten avulla.

Ensimmäisen Salpausselän alueella on 15 pohjavesialuetta, joissa pääsääntöisesti valtateille on rakennettu nykyvaatimusten mukainen luiskasuojaus (bentoniittimaton ja muovin yhdistelmä rakenne tai bentoniitti ja kuitukankaat). Näillä pohjavesialueilla 11:sta on merkkejä luiskasuojauksien vähintäänkin osittaisesta toimimisesta, kun luiskasuojauksen toimivuutta arvioidaan pohjaveden kloridipitoisuustrendien perusteella. Luiskasuojauksen toimivuuden arvioiminen ei kuitenkaan ole yksiselitteistä tuntematta alueen pohjaveden virtauskuvaa ja geologisia rakenteita. Luiskasuojauksen rakentamisen jälkeen pohjavesimuodostuman luonnollinen puhdistuminen kloridista voi olla maaperän ominaisuuksista, geologisista kerrosrakenteista tai pohjaveden alhaisesta virtausnopeudesta johtuen hidasta (Kling et al. 1993). Luiskasuojauksen vaikutuksen erottaminen esimerkiksi suolausmäärän tai vedenottomäärän muutoksien vaikutuksista on haastavaa ilman yksityiskohtaisia tietoja sekä ajalta ennen luiskasuojauksen

rakentamista että sen rakentamisen jälkeen. Esimerkiksi Joutsenonkangas A:n pohjavesialueella kloridipitoisuustrendit eri havaintopisteissä ovat luiskasuojauksen rakentamisen jälkeisenä aikana keskenään ristiriitaisia, mikä vaikeuttaa luiskasuojauksen toimivuuden arvioimista (Kuva 42).



Kuva 42. Pohjaveden kloridipitoisuuksien kehitys Lappeenrannan Joutsenonkangas A:n pohjavesialueella vuosina 2000–2013. Valtatie 6 kulkee alueella pitkittäisesti. Valtatie 6:lle on rakennettu luiskasuojaus vuonna 2003 (pystyviiva).

Tämän tutkimusaineiston kloridipitoisuuksien perusteella luiskasuojaus vaikuttaa pääasiassa toimivan Kouvolan Kaipiaisen, Lahden Kunnaksen, Hangon Sandö-Grönvikin ja Kouvolan Utin pohjavesialueilla. Utin pohjavesialueella suojaus ei kata koko pohjaveden muodostumisaluetta, joten osassa havaintopisteissä on mitattu korkeita kloridipitoisuuksia. Suojaus ei vaikuta aineiston perusteella toimivan Lohjan Lohjanharju B:n, Vihdin Nummelanharjun, Luumäen Taavetin eikä Imatran Vesioronkankaan pohjavesialueilla. Luiskasuojaus saattaa toimia Hangon, Hangon Isolähteen, Lappeenrannan Joutsenonkangas A:n ja Ukonhaudan, Lahden, Lahden Renkomäen sekä Nurmijärven Teilinummen pohjavesialueilla, mutta näillä alueilla tulokset eivät ole yhdenmukaisia kaikissa havaintopisteissä. Luiskasuojauksen toimivuuden luotettava arvioiminen vaatii lisätutkimuksia useilla pohjavesialueilla.

8.8. Geologisen ympäristön vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin

Tässä tutkimuksessa geologista ympäristöä kuvaavat tekijät ovat teoreettinen muodostumatyyppi, pohjavesialueen antikliinisuus tai synkliinisyys, pohjavesialueen kokonaispinta-ala ja muodostumisalueen pinta-ala, arvio maaperän imeytymiskertoimesta ja muodostuvan pohjaveden määrästä sekä pohjavesialuekohtainen arvio vedenottamoiden vedenoton määrästä. Pohjavesialueet ovat aina yksilöllisiä ja alueiden sisälläkin saattaa olla huomattavia eroavaisuuksia esimerkiksi maalajeissa, maaperän paksuudessa ja kerrosrakenteissa sekä pohjaveden muodostumismäärässä, pohjaveden pinnan korkeudessa ja virtaussuunnissa. Tässä tutkimuksessa käytetyt geologista ympäristöä kuvaavat tekijät ovat yleistäviä, eivätkä luokittelut esimerkiksi teoreettiseen tyyppimuodostumaan aina ole olleet yksiselitteisiä.

Teoreettisten tyyppimuodostumien osalta Ensimmäisen Salpausselän tutkimusaineistossa pienin kloridipitoisuuksien mediaani on luokan IIA pohjavesialueilla (md 14,5 mg l⁻¹ ja ka 15,4 mg l⁻¹) ja korkein luokan IIB pohjavesialueilla (md 19,0 mg l⁻¹ ja ka 25,8 mg l⁻¹). Ensimmäisen Salpausselän alueen tutkimusaineiston tulokset ovat pääpiirteissään yhteneväisiä valtakunnallisen pohjaveden kloridipitoisuuksien tarkastelun kanssa (Hänninen et al. 1994). Valtakunnallisessa tarkastelussa korkeimmat kloridipitoisuudet ovat luokan IIB pohjavesialueilla (md 23 mg l⁻¹ ja ka 26 mg l⁻¹) ja pienimmät pohjaveden kloridipitoisuudet ovat luokkien I (md 12 mg l⁻¹) ja IIA pohjavesialueilla (md 13 mg l⁻¹). Molemmissa tutkimuksissa erot luokkien I ja IIA pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien välillä ovat pieniä.

Valtakunnallisessa kloridipitoisuustutkimuksessa Salpausselkätyyppisten reunamuodostumien (luokan IV) pohjavesialueilla kloridipitoisuuksien mediaani on 18 mg l⁻¹, ja ensimmäisen Salpausselän aineistossa 14 mg l⁻¹. Molemmissa tutkimuksista luokan IV pohjavesialueiden kloridipitoisuudet sijoittuvat suuruusluokaltaan muiden luokkien tulosten väliin. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että luokkaan IV kuuluu sekä antikliinisiä että synkliinisiä pohjavesialueita. Reunamuodostumat ovat myös rakenteeltaan heterogeenisempiä kuin harjut, koska ne koostuvat sekä moreenista että lajittuneesta hiekasta ja sorasta, joissa veden imeytyminen poikkeaa toisistaan (Niemi et al. 1994). Toisaalta ensimmäisen Salpausselän aineistossa luokan IV pohjavesialueiden

kloridipitoisuuksien hajonta on suurta, ja keskiarvo (ka 29,0 mg l⁻¹) on selvästi suurempi kuin valtakunnallisessa tarkastelussa (ka 20 mg l⁻¹). Tilastollisten tunnuslukujen eroavaisuudet ovat kuitenkin ymmärrettäviä, sillä valtakunnallisen kloriditarkastelun aineisto on kerätty ennen 1990-luvun puoliväliä ja havaintojen määrä varsinkin IV-luokkaan kuuluvilta pohjavesialueilta on selvästi pienempi (n = 354) kuin tässä ensimmäisen Salpausselän aineistossa (n = 4039). Ensimmäisen Salpausselän tutkimusaineiston kloridipitoisuushavaintojen hajonnan lisääntyminen ja keskiarvon nousu 2000-luvulla voi kuitenkin näkyä myös tässä vertailussa. Kloridipitoisuuksien hajonnan lisääntyminen ja keskiarvojen nousu ovat osittain seurausta havaintojen määrän lisääntymisestä, mutta mahdollisesti osittain myös pitkäaikaisen tiesuolauksen vaikutuksesta pohjaveteen.

Pohjavesialueen pinta-alalla sekä pohjaveden muodostumisalueen pinta-alalla on tilastollisen tarkastelun perusteella yhteys havaittuihin kloridipitoisuuksiin. Pohjavesialueet voidaan luokitella pieniin (alle 1 km²), keskikokoisiin (1–10 km²), suuriin (10–50 km²) ja erittäin suuriin (yli 50 km²) alueisiin sekä kokonaispinta-alan että muodostumispinta-alan osalta. Luokittelun avulla pyritään erottamaan etenkin ääripäiden eli pienten ja erittäin suurten pohjavesialueiden kloridipitoisuuseroja, sekä vertailemaan niitä keskikokoisten (1–10 km²) pohjavesialueiden kloridipitoisuuksiin.

Kokonaispinta-alaltaan pienten ja erittäin suurten pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien mediaanien ero on 13 mg l⁻¹, ja muodostumispinta-alaltaan pienten ja suurten pohjavesialueiden kloridipitoisuuksien mediaanien ero on 8 mg l⁻¹. Pinta-alaltaan suurilla pohjavesialueilla kloridipitoisuustaso on tilastollisen tarkastelun perusteella pienempi kuin pienillä pohjavesialueilla, joissa kloridipitoisuudet ovat suurempia. Tulosta voidaan selittää muodostuman kokonaistilavuuden avulla, joka on yleensä yhteydessä muodostuman pinta-alaan, sillä mitä enemmän muodostumassa on vettä, sitä enemmän kloridipitoinen vesi laimenee sekoittuessaan muuhun pohjaveteen. Suuri pinta-ala tai tilavuus ei kuitenkaan takaa sitä, ettei pohjavesialue voisi pilaantua pitkään jatkuneen tiesuolauksen seurauksena. Kloridipitoisuuden kasvu on kuitenkin hitaampaa kuin pienissä muodostumissa. Vastaavasti puhdistuminen on myös hitaampaa, mikäli suolausta vähennettäisiin tai sen pääsy pohjaveteen estettäisiin kokonaan. Tulokset ovat yhteneväisiä valtakunnallisen kloriditutkimuksen (Hänninen et al. 1994) kanssa. Valtakunnallisen pohjaveden kloridipitoisuuksien tarkastelun mukaan

pohjaveden kloridipitoisuus on suurempi, kun muodostumispinta-ala on keskimääräistä pienempi ainakin ympäristöstään vettä keräävissä harjuissa (luokka IIB) ja reunamuodostumissa (luokka IV) sijaitsevilla pohjavesialueilla.

Aineiston perusteella pohjaveden muodostumismäärällä on yhteys havaittuihin kloridipitoisuuksiin. Tulosten mukaan kloridipitoisuuksien mediaani on suurin pohjavesialueilla, joissa pohjavettä muodostuu vähiten ja pienin alueilla, joissa pohjaveden muodostuminen on runsasta. Tulosta voidaan selittää pohjaveden muodostumisalueen pinta-alan ja maaperän imeytymiskertoimen avulla, sillä arvio muodostuvan pohjaveden määrästä perustuu näihin muuttujiin. Pohjavesialueilla, joissa pohjavettä muodostuu laajalla alueella ja maaperän imeytymiskerroin on suuri, tieltä kulkeutuva kloridipitoinen vesi laimenee nopeasti sekoittuessaan muuhun veteen.

Maaperän imeytymiskerroin vaihtelee tutkimusalueen pohjavesialueilla 0,3–0,6. Imeytymiskertoimen ja pohjaveden kloridipitoisuuksien välillä ei kuitenkaan ole tämän aineiston perusteella tilastollista merkitsevyyttä (p-arvo on 0,873). Imeytymiskerroin voi todellisuudessa vaihdella pohjavesialueen sisällä. Pohjavesialuekohtainen arvio imeytymiskertoimesta on todennäköisesti liian yleistävä, jotta sillä voisi olla tilastollisesti merkitsevä yhteys havaintopisteistä mitattujen kloridipitoisuuksien kanssa. Arvio muodostuvan pohjaveden määrästä, jolla on selkeä tilastollinen yhteys havaittuihin kloridipitoisuuksiin, pohjautuu osittain imeytymiskertoimeen, joten maaperän imeytymiskerroin ainakin jonkin verran vaikuttaa pohjaveden kloridipitoisuuteen.

Pohjavesialueen antikliinisuus/synkliinisyys on aineiston perusteella yhteydessä havaittuihin kloridipitoisuuksiin. Synkliinisillä eli ympäristöstään vettä keräävillä pohjavesialueilla esiintyy tilastollisessa tarkastelussa suurempia kloridipitoisuuksia kuin antikliinisillä eli ympäristöönsä vettä purkavilla pohjavesialueilla. Vastaava tulos on saatu valtakunnallisessa kloriditutkimuksessa (Hänninen et al. 1994), aiemmassa ensimmäisen Salpausselän alueen tutkimuksessa (Nystén et al. 1999) ja Niemen et al. (1994) mallinnustutkimuksessa.

Geologisilla olosuhteilla on suuri merkitys sille, kuinka voimakkaasti tiesuolaus vaikuttaa alueen pohjavesien tilaan. Aineiston perusteella suurimmat pohjaveden

kloridipitoisuudet esiintyvät pienillä synkliinisillä eli ympäristöstään vettä keräävillä pohjavesialueilla, joissa pohjaveden muodostuminen on suhteellisen vähäistä.

8.9. Vedenoton vaikutus pohjaveden kloridipitoisuuksiin

Vedenoton ja pohjaveden kloridipitoisuuksien välillä ei tämän aineiston perusteella ole tilastollista yhteyttä. POVET-rekisterin tietojen mukaan tutkimusalueella vähintään 28 pohjavesialueella toimii vedenottolaitos. Tiedot ovat osittain puutteellisia, ja voidaan olettaa, että vedenottoa tapahtuu todellisuudessa useammalla alueella. Vedenottolaitosten lisäksi vettä voidaan pumpata teollisuuden tai yksityistalouksien käyttöön, mitä ei tässä yhteydessä ole selvitetty. Suhteellisen runsas vedenotto muuttaa pohjavesialueen virtauskuva, kun virtaus voimistuu vedenottamolle päin. Samalla haitta-aineet voivat kulkeutua tehokkaammin vedenottoalueelle. Runsa veden pumppaaminen kuitenkin kerää vettä laajalta alueelta, mikä samanaikaisesti laimentaa kloridipitoisuuksia. (Niemi et al. 1994.) Valtakunnallisessa pohjaveden kloridipitoisuustarkastelussa (Hänninen et al. 1994) pohjaveden kloridipitoisuuksilla ei myöskään ollut tilastollista yhteyttä vedenottomäärien kanssa.

8.10. Usean muuttujan regressioanalyysi

Tilastollisen tarkastelun perusteella pohjavesien kloridipitoisuuksiin vaikuttaa samanaikaisesti useita eri muuttujia. Eri muuttujien osuutta sekä yhteisvaikutusta pohjavesien kloridipitoisuuksiin voi tutkia regressioanalyysiin avulla. Regressioanalyysi on malli, jonka tulokset vaihtelevat sen mukaan, mitkä muuttujat valitaan analyysiin ja kuinka paljon selittävillä muuttujilla on keskinäistä korrelaatiota. Tässä aineistossa selittävät muuttujat on ilmaistu eri yksiköissä, ja arvojen suuruusluokat vaihtelevat. Sen vuoksi selittävien tekijöiden vaikutusta arvioidaan niiden normitettujen regressiokertoimien eli betakertoimien avulla. Mallin tilastollista merkitsevyyttä tutkitaan F-testin p-arvon avulla, jonka tulee olla pienempi kuin 0,05, jotta riippuvuus olisi tilastollisesti merkitsevä. Pohjavesien kloridipitoisuutta voi selittää useilla erilaisilla malleilla, joiden tulokset eivät aina ole yhdenmukaisia. Ensimmäisen Salpausselän alueen aineistosta laadituissa malleissa yleinen ongelma on, että mallin

selitysaste jää pieneksi. Suurin osa malleista selittää alle 10 % havaituista pohjavesien kloridipitoisuuksista. Syynä tähän on todennäköisesti alueen suuri heterogeenisyys sekä havaituissa pohjaveden kloridipitoisuuksissa että geologisissa olosuhteissa. Regressiomallissa huomioidaan ainoastaan ne havainnot, joista tunnetaan kaikki malliin valitut selittävät muuttujat. Tässä aineistossa monet tekijät ovat sellaisia, joita ei tunneta kaikkien havaintojen osalta. Esimerkiksi tiehoitoluokkakohtainen suolausmäärä tunnetaan vain vuoden 2004 jälkeen mitattujen havaintojen osalta ja vesilaitosten vedenottomäärä on arvioitu vain reilussa puolessa pohjavesialueista. Kaikkea olemassa olevaa tietoa ei siis pystytä hyödyntämään regressioanalyysissä, sillä tiedot eivät ole kattavia koko aineiston osalta.

Taulukossa 7 on esitetty ensimmäisen mallin tulokset. Selittäviksi tekijöiksi on valittu sellaisia muuttujia, jotka eivät vaihtelee lyhyellä aikavälillä. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi pohjavesialueen koko tai tien sijainti pohjaveden muodostumisalueella. Tässä mallissa ei ole mukana suolaus- tai luiskasuojauktietoja, koska suolausmäärät vaihtelevat vuosittain ja luiskasuojauksien rakentamisesta on monissa tapauksissa kulunut vasta hyvin lyhyt aika. Mallin selitysaste on pieni ($R^2 = 0,071$), joten mallia ei voida pitää kovin luotettavana. Estimaatin keskivirhe on melko suuri (47,197), mutta huomioiden kloridipitoisuuksien vaihteluvälin suuruuden ($0\text{--}700 \text{ mg l}^{-1}$), se on ymmärrettävä. Mallin etuna on havaintojen suuri määrä, joten tulokset kuvaavat enemmän koko aineistoa kuin yksittäistapauksia. Mallin mukaan selittävien muuttujien ja pohjaveden kloridipitoisuuksien välinen regressiokerroin on 0,266 ja eniten pohjavesien kloridipitoisuuksiin vaikuttavat tien ja havaintopisteen välinen etäisyys (betakerroin -0,17), muodostuman veden keräävyys eli synkliinisyys (betakerroin 0,17), pohjavesialueen kokonaispinta-ala (betakerroin -0,15) ja pohjaveden muodostumispinta-ala (betakerroin -0,11). Negatiivinen betakerroin tarkoittaa, että selittävän muuttujan suuret arvot ovat yhteydessä selitettävän muuttujan pieniin arvoihin. Esimerkiksi kokonaispinta-alan suuret arvot ovat yhteydessä kloridipitoisuuden pieniin arvoihin.

Taulukossa 8 on esitetty toinen malli, johon on valittu selittäviä muuttujia siten, että mallin selitysaste on mahdollisimman suuri. Tämä malli selittää noin 15 % havaituista pohjaveden kloridipitoisuuksista ($R^2 = 0,15$). Selittävien muuttujien ja pohjaveden kloridipitoisuuksien välinen regressiokerroin on 0,39. Havaintoja on huomattavasti vähemmän ($n = 1077$) kuin edellä kuvatussa mallissa. Yhtenä selittävänä muuttujana on

tiehoitoluokkaan perustuva tiesuolausmäärä, josta on tietoja ainoastaan vuoden 2004 jälkeen. Tämän vuoksi esimerkiksi aiempia kloridihavaintoja ei tässä mallissa ole mukana. Estimaatin keskivirhe on samaa suuruusluokkaa kuin ensimmäisessä mallissa.

Toisen mallin mukaan eniten pohjavesien kloridipitoisuuksiin vaikuttavat pohjavesialueen synkliinisyys eli veden keräävyys (betakerroin 0,54), tiivistetty maakerros tien pohjavesisuojausmenetelmänä (betakerroin 0,23), teoreettinen geologinen tyyppimuodostuma IV eli Salpausselkätyyppinen reunamuodostuma (betakerroin 0,22) ja pohjavesialueen antikliinisyys eli veden purkavuus (betakerroin 0,19). Edellä mainitut betakertoimet ovat positiivisia eli näiden muuttujien suuret arvot ovat yhteydessä pohjavesien suuriin kloridipitoisuuksiin. Ainut tilastollisesti merkitsevä negatiivinen regressiokerroin on pohjaveden kloridipitoisuuden ja tien ja havaintopisteen välisen etäisyyden välillä (betakerroin -0,11). Tämä tarkoittaa, että mallin mukaan suuri tien ja havaintopisteen välinen etäisyys on yhteydessä pieniin kloridipitoisuuksiin.

Toisessa mallissa on useita muuttujia, joilla ei mallin mukaan ole tilastollisesti merkitsevää yhteyttä pohjaveden kloridipitoisuuksien kanssa. Jo yhdenkin tällaisen muuttujan poistaminen mallista kuitenkin muuttaa koko mallia ja eri muuttujien vaikutusten suuruutta pohjaveden kloridipitoisuuksiin. Malli voi antaa virheellisiä tuloksia, jos selittävillä muuttujilla on suurta keskinäistä korrelaatiota: kolinearisuutta tai multikolinearisuutta. Kolinearisuus tarkoittaa kahden ja multikolinearisuus usean muuttujan välistä korrelaatiota. Esimerkiksi pohjavesialueen kokonaispinta-ala ja pohjaveden muodostumispinta-ala ovat yhteydessä toisiinsa (Pearsonin korrelaatiokerroin on 0,92 ja p-arvo 0,00). Samoin arvio pohjaveden muodostumismäärästä riippuu maaperän imeytymiskertoimesta, sillä imeytymiskerrointa on käytetty muodostumismäärän laskemisessa (Pearsonin korrelaatiokerroin on 0,36 ja p-arvo 0,00). Jos korrelaatiot ovat voimakkaita (suuruusluokaltaan $> 0,7$), kuten tässä aineistossa osittain on, usean muuttujan regressioanalyysin t-testi ei välttämättä anna luotettavia tuloksia. Näin ollen osa muuttujista, joilla ei mallin mukaan ole tilastollisesti merkitsevää yhteyttä pohjaveden kloridipitoisuuksiin, voivat todellisuudessa olla merkitseviä. Pearsonin korrelaatiokerroin pohjaveden kloridipitoisuuksien ja esimerkiksi tiesuolausmäärän, pohjavesialueen kokonaispinta-alan, pohjaveden muodostumispinta-alan ja pohjaveden

muodostumismäärän välillä on suhteellisen suuri, mutta tämän mallin mukaan nämä muuttujat eivät ole merkitseviä. Toisaalta ensimmäisessä mallissa pohjavesialueen kokonaispinta-ala ja muodostumispinta-ala ovat merkitseviä. Arvio muodostuvan pohjaveden määrästä sisältää varmastikin eniten multikolineaarisuutta, sillä se on sekä yhteydessä pohjavesialueen muodostumispinta-alaan, maaperän imeytymiskertoimeen ja pohjavesialueen antikliinisuuteen/synkliinisyteen. Antikliinisuus/synkliinisyys on taas yhteydessä teoreettiseen geologiseen tyyppimuodostumaan.

Tämän tutkimuksen aineistolla ei ole mahdollista luoda yhtä luotettavaa usean muuttujan regressioanalyysiä, sillä aineisto on liian heterogeeninen ja pohjavesialuekohtaiset tiedot ovat toisaalta liian yleistäviä. Eri muuttujilla on myös liikaa keskinäistä korrelaatiota. Kahden erilaisen regressiomallin perusteella pohjavesialueen antikliinisuus/synkliinisyys, tien sijainti pohjavesialueella pitkittäisesti, tien ja havaintopisteen välinen etäisyys sekä geologinen tyyppimuodostuma ovat selkeimmin yhteydessä havaittuihin pohjaveden kloridipitoisuuksiin.

8.11. Tieriskirekisterin (TSRR) hyödyntämismahdollisuudet

Teiden aiheuttama riski pohjavedelle vaihtelee pohjavesialueittain muiden muassa alueella sijaitsevien teiden sijainnin, pituuden ja hoitoluokkien, rakennettujen luiskasuojauksen sekä geologisten olosuhteiden mukaan. TSRR kehitettiin 1990-luvulla tiesuolauksen pohjavesivaikutusten hallinnan tueksi. Vuonna 2013 tiehallinnon ja SYKEN yhteisprojektissa TSRR liitettiin osaksi POVET-rekisteriä. TSRR:n avulla pystytään yksilöimään ne pohjavesialueet, joissa tiesuolauksesta aiheutuu vedenoton kannalta suurin riski ja jotka vaativat kiireellisimmin pohjaveden suojelutoimenpiteitä.

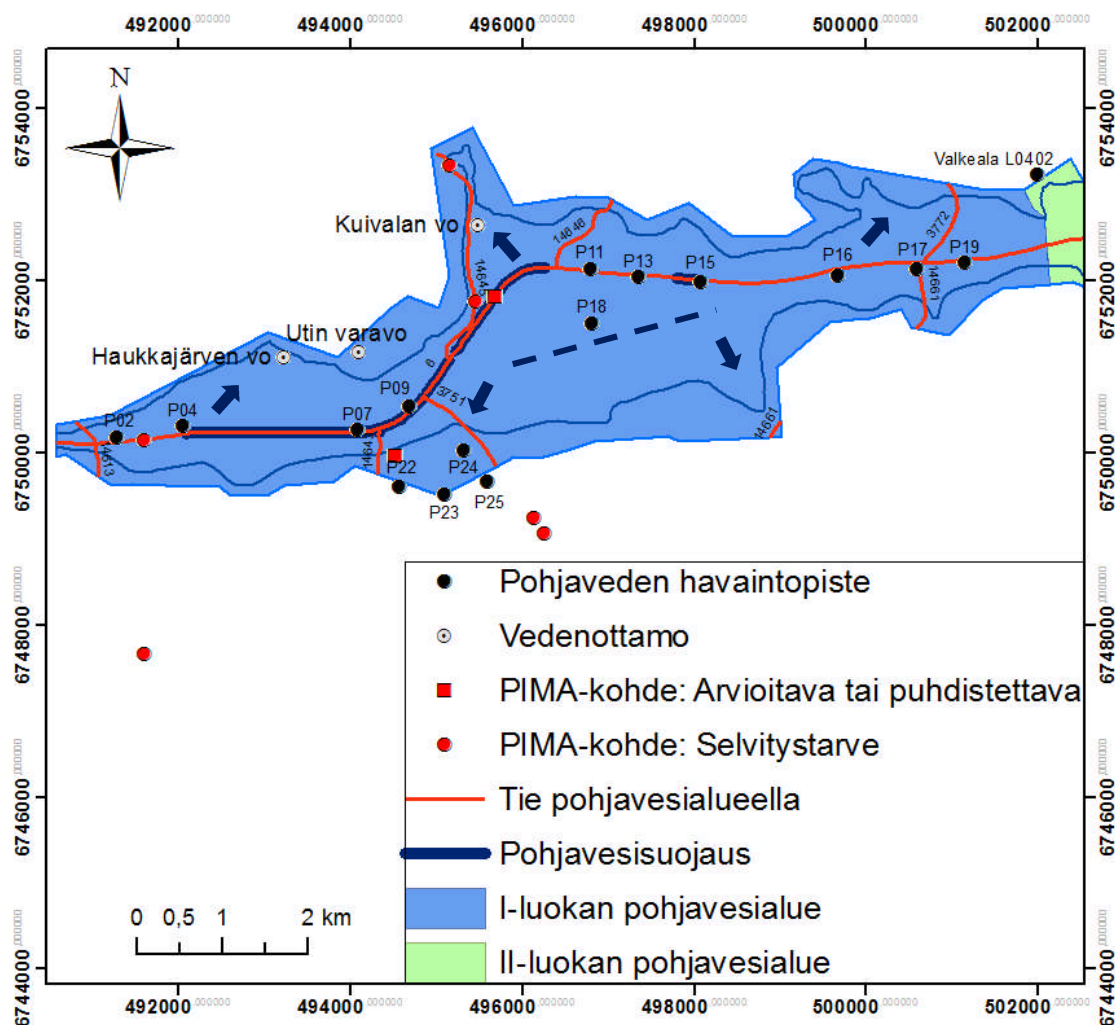
Tämän tutkimuksen teon yhteydessä uusi versio TSRR:stä oli ensi kertaa hyödynnettävissä. Tällä hetkellä tieriskirekisterin puutteena on, ettei kaikkia tie- ja suolaustietoja vielä ole viety osaksi rekisteriä. Vedenottoalue-tieparit ja niiden välinen riskiluku voi pohjautua osittain puutteelliseen tietoon. Tulevaisuudessa TSRR:ä on tarkoitus päivittää vuosittain, ja tiedon lisääntyessä rekisteri on hyödyllinen apuväline hallita tiesuolauksen pohjavesivaikutuksia ennen kaikkea vedenottoalueilla.

Tässä tutkimuksessa teiden suolaushistorian löytyminen TSRR:stä olisi ollut hyödyllistä. Rekisteriin on toistaiseksi tallennettu suolaustiedot ainoastaan talvikaudelta 2012–2013. Numeerinen tieto tien etäisyydestä haluttuun pohjaveden seurantapisteeseen olisi myös ollut tarpeellinen. TSRR:n vedenottoalue-tieparit antavat yleisesti ottaen havainnollisen kuvan vedenottoalueen pilaantumisherkkyydestä, mutta tämänkaltaisessa parien luomisessa ei oteta huomioon sitä, että samalla pohjavesialueella voi olla useita suolattavia teitä, jotka voivat kaikki yhdessä aiheuttaa riskiä ja selittää mitattuja kloridipitoisuuksia. Parien lisäksi tilannetta voisi tarkastella myös kokonaisuutena selvittämällä, kuinka suuri on havaintopisteeseen kohdistuva todellinen riski ottaen huomioon kaikkien läheisten suolattavien teiden yhteisvaikutuksen ja kasvattamalla vedenottoalueen riskilukua, jos suolattavia teitä on useita. TSRR:ssä on melko kattavasti tieto teiden luiskasuojauksista, mutta rakennusvuotta ei ole tallennettu rekisteriin. Pohjavesialueen kloridipitoisuuskehityksen tulkinnan kannalta luiskasuojauksen rakentamisvuosi on tärkeä selittävä tekijä. Samoin pohja- ja pintavesien vesiensuojelua edistäisi se, että luiskasuojattujen teiden osalta rekisterissä olisi paikkatietona dokumentoitu, mihin tieltä tulevat suolapitoiset hulevedet johdetaan. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden käyttökohteet ja -määrät voisivat myös löytyä rekisteristä. Pohjavesialueen kloridipitoisuuksien tulkinnan kannalta olisi tärkeää, että erilaiset mahdolliset kloridilähteet, esimerkiksi soratiet, urheilukentät, raviradat, sorakuopat ja vanhat suolavarastot, olisi mainittu rekisterissä.

9. TAPAUSTUTKIMUS: UTIN POHJAVESIALUE

Utin pohjavesialue sijaitsee Kouvolassa Kaakkois-Suomessa. Utti on I-luokan pohjavesialue, jonka määrällinen ja kemiallinen tila on luokiteltu hyväksi. Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on $22,7 \text{ km}^2$ ja pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala on $15,4 \text{ km}^2$. Utin pohjavesialue on muihin ensimmäisen Salpausselän pohjavesialueisiin nähden keskimääräistä suurempi sekä kokonais- että muodostumispinta-alaltaan (Liite 1). POVET-rekisterin mukaan Utin pohjavesialueella muodostuu pohjavettä arviolta $12\,600 \text{ m}^3 \text{ vrk}^{-1}$. Vedenottolaitoksia on kolme: Kuivalan ja Haukkajärven vedenottamot sekä Utin varavedenottoamo. Vedenottamoiden yhteenlaskettu vedenottomäärä on noin $29\,000 \text{ m}^3 \text{ vrk}^{-1}$, josta 70 % on tekopohjavettä.

Tekopohjaveden imeytysaltaat sijaitsevat Haukkajärven ja Kuivalan vedenottamoiden läheisyydessä (Kuva 43).

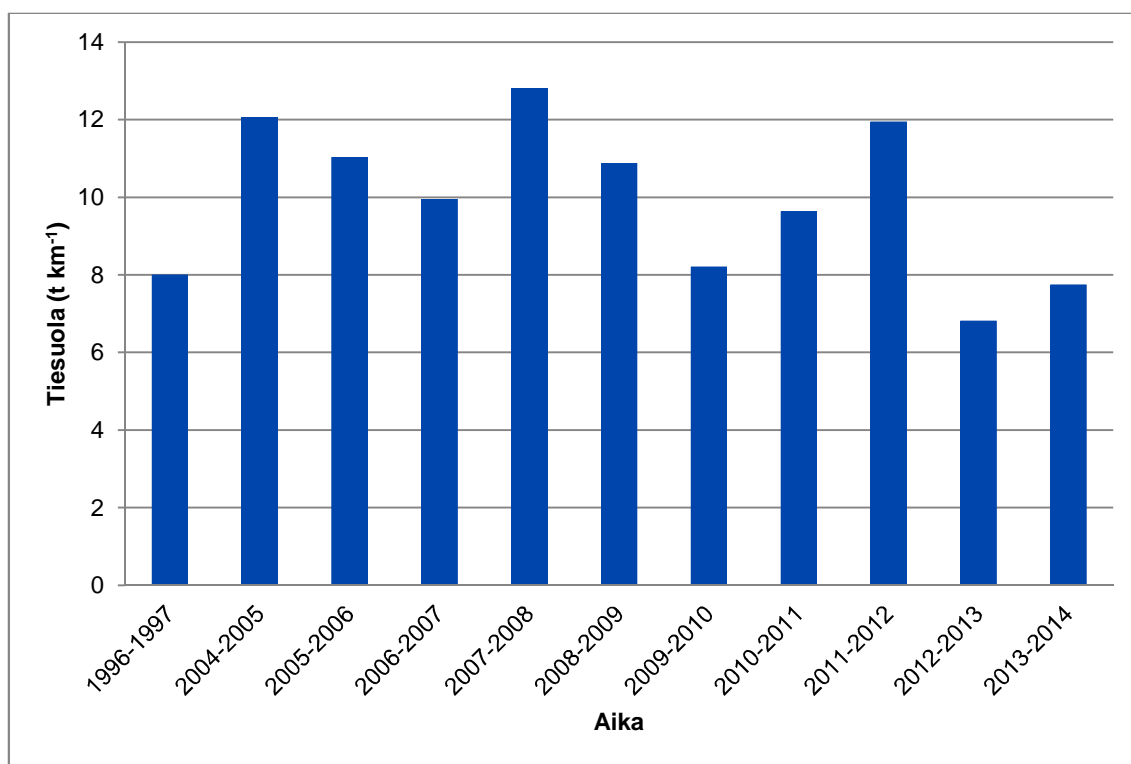


Kuva 43. Utin pohjavesialueella olevat pohjaveden havaintopisteet, tiet, teiden pohjavesisuojauskset ja pilaantuneet maa-alueet (PIMA-kohteet), jotka on luokiteltu arvioitavaksi tai puhdistettavaksi tai joilla on selvitystarve. Pohjaveden paikalliset virtaussuunnat on esitetty nuolilla. Vedenjakaja-alue on merkitty katkoviivalla. Pohjavesialueet © SYKE ja Kaakkois-Suomen ELY-keskus 2014. Maaperän tilan tietojärjestelmä © SYKE 2012. Tieriskirekisteri TSRR © SYKE 2013. Pohjavesisuojauskset © Kaakkois-Suomen ELY-keskus 2014.

Alueen pohjaveden kloridipitoisuuteen vaikuttaa pääasiassa tiesuola. Tiesuolauksen lisäksi pohjaveden kloridipitoisuuteen voivat mahdollisesti vaikuttaa asutus, teollisuus ja pilaantuneet maa-alueet (PIMA-kohteet), mutta se ei ole todennäköistä, koska pohjaveden muodostumisalueella sijaitsevat arvioitavat, puhdistettavat tai selvitystarpeessa olevat PIMA-kohteet ovat lopetettuja polttonesteiden jakeluasemia ja ampumaratoja, joista ei aiheudu kloridipäästöjä.

9.1. Tiesuolaus pohjavesialueella

TSRR:n tietojen mukaan valtatie 6 kulkee pohjaveden muodostumisalueella pitkittäisesti. Valtatie 6 kuuluu talvihoitoluokkaan Is eli tie on sään muutostilanteita lukuun ottamatta paljas. Talvikausien 2004–2014 keskimääräinen tiesuolausmäärä oli $10,1 \text{ t km}^{-1} \text{ v}^{-1}$ (Kuva 44). Tien pituus pohjaveden muodostumisalueella on yhteensä noin 12,5 km. Tie jakautuu kolmeen tieosuuteen (6 / 202, 6 / 203 ja 6 / 204), joista tieosuudelle 6 / 202 on rakennettu pohjavesisuojaus (bentoniittimatto ja muovi) vuonna 2000. Tieosuus 6 / 203 on osittain suojattu bentoniitilla ja kuitukankailla vuosina 1995–1996. Suojattujen tieosuuksien pituus on yhteensä noin 4,8 km.



Kuva 44. Valtatie 6:n keskimääräinen tiesuolausmäärä talvikausina 1996–1997 ja 2004–2014. Arvot on saatu laskennallisesti tiehallinnon Aura-tietojärjestelmään tallennettujen tiepiirien ja urakka-alueiden kokonaissuolausmäärien ja eri hoitoluokkiin kuuluvien teiden ajoratakilometrimäärien perusteella.

Valtatie 6 lisäksi pohjavesialueella on useita yhdysteitä, jotka kuuluvat talvihoitoluokkaan II. Ne ovat talvisin pääosin polanpinta-aisia, ja niiden keskimääräinen suolausmäärä talvikausina 2004–2014 oli noin $0,01 \text{ t km}^{-1} \text{ v}^{-1}$.

Utin pohjavesialueella tiesuolausmäärät eivät ole muuttuneet systemaattisesti 2000-luvun aikana. Vuosittaiset erot suolan käyttömäärissä johtuvat todennäköisesti

sääolosuhteista. Utin pohjavesialueella ei ole ollut tiesuolauksen vähentämishankkeita, eikä vaihtoehtoisia liukkaudentorjunta-aineita ole käytetty.

9.2. Geologinen ympäristö

POVET-rekisterin tietojen mukaan Utin pohjavesialue sijaitsee ensimmäisen Salpausselän reunamuodostumassa, mutta alueella on myös kaksi deltaa. Alueen pohjoisreunalla pitkittäisharju yhtyy pohjaveden muodostumisalueeseen. Alueella on kymmeniä metrejä paksuja kerroksia soraa ja hiekkaa. Pohjavesialueen pohjoispuolella esiintyy karkeaa soraa, ja eteläpuolella hienoa ja karkeaa hietaa. Pohjaveden muodostumisalueen länsiosissa esiintyy moreenia, joka paikoitellen estää pohjavesivirtauksia. Kallioperä on noin 40–50 metrin syvyydessä maanpinnasta. Kalliokynnykset estävät paikoitellen pohjaveden virtausta, esimerkiksi Lentokenttäkankaalla pohjavesialueen eteläosassa. Pohjavesi on keskimäärin 20–30 metrin syvyydessä. Pohjavesialue on antikliininen eli ympäristöönsä vettä purkava. Hännisen et al. (1994) mukaan pohjavesialue kuuluu tyyppimuodostumaluokkaan IV eli se on Salpausselkätyyppinen reunamuodostuma. Pohjaveden päävirtaussuunta on pohjoiseen (Kaakkois-Suomen ELY-keskus 2014).

9.3. Pohjaveden kloridipitoisuustaso

Tässä tutkimuksessa on mukana 16 havaintopistettä Utin alueelta (Taulukko 9). Viisi havaintopistettä (P22, P23, P24, P25 ja Valkeala L0402) sijaitsevat pohjavesialueen reunalla ja samalla melko etäällä suolattavista teistä. Havaintopiste P18 sijaitsee pohjaveden muodostumisalueella, mutta myös melko etäällä suolattavista teistä. Muut kymmenen havaintopistettä sijaitsee pohjaveden muodostumisalueella hyvin lähellä valtatie 6:tta. Havaintopisteet ovat pääasiassa pohjaveden havaintoputkia, joiden kloridipitoisuutta on seurattu 1990-luvun puolivälistä alkaen. Yksi havaintopisteistä on lähde (Valkeala L0402), jonka kloridipitoisuuksia on seurattu vuodesta 1975. Pohjavesiputkista on otettu keskimäärin noin 30 näytettä seurantahistorian aikana. Valkealan lähteestä on otettu 286 näytettä, mikä on suurin yksittäisen havaintopisteen analyysitulosten määrä koko tutkimusaineistossa.

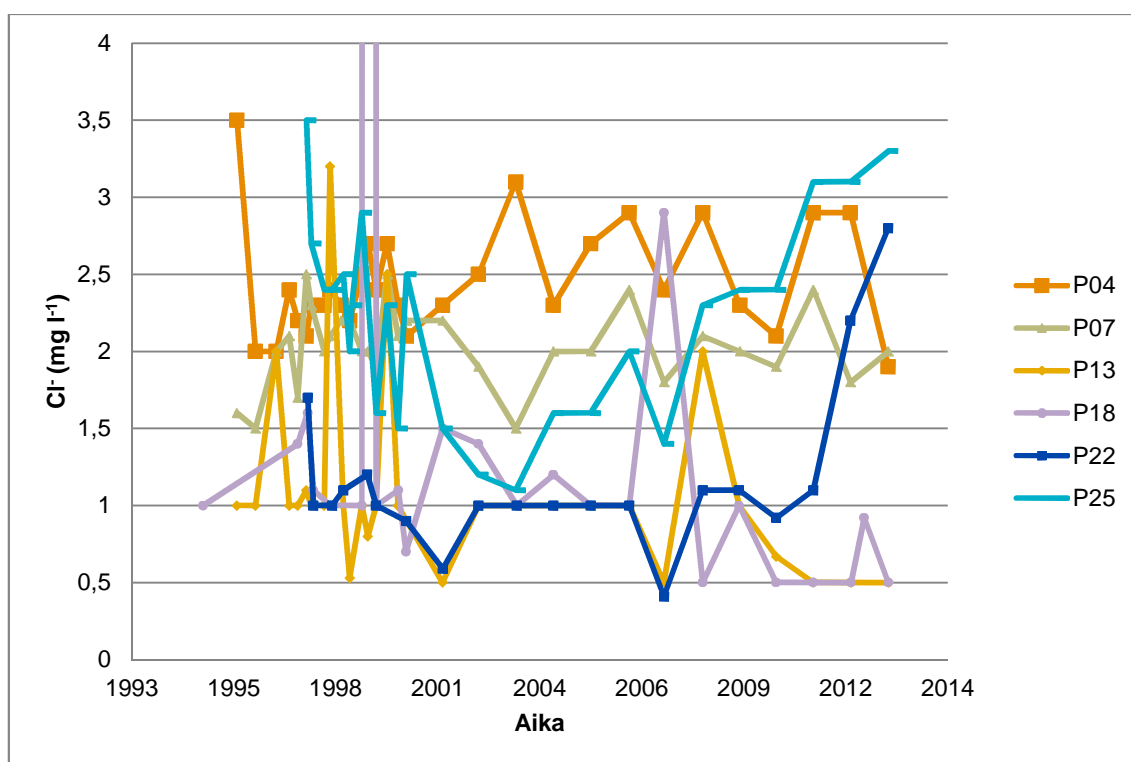
Taulukko 9. Utin pohjavesialueen kloridipitoisuustrendit, havaintopisteiden seuranta-ajanjaksot, havaintojen lukumäärä sekä havaintopisteiden kloridipitoisuuksien minimi- ja maksimiarvot (mg l^{-1}), mediaanit (mg l^{-1}) ja keskiarvot (mg l^{-1}). Pohjavesialueella kloridipitoisuuteen voivat mahdollisesti vaikuttaa tiesuolauksen lisäksi asutus (A), teollisuus (T) ja pilaantuneet maa-alueet (PIMA).

Havaintopiste	Havaintopisteen tyyppi	Cl-trendi koko seurantahistorian ajalta	Seuranta-aika	n	Kloridipitoisuus (mg/l)				Muut mahdolliset Cl-lähteet kuin tiesuola
					min	max	md	ka	
Valkeala L0402	Lä	↑	13.1.1975-5.9.2013	286	2,0	25,0	17,0	14,3	A, T, (PIMA)
P02	Hp	↑	28.11.1995-21.5.2013	30	6,3	66,0	19,0	27,8	A, T, (PIMA)
P04	Hp	↗	28.11.1995-21.5.2013	30	1,9	3,5	2,4	2,5	A, T, (PIMA)
P07	Hp	→	28.11.1995-21.5.2013	30	1,5	2,5	2,0	2,0	A, T, (PIMA)
P09	Hp	↗	28.11.1995-13.6.2014	31	1,6	11,0	3,0	3,9	A, T, (PIMA)
P11	Hp	↗	28.11.1995-21.5.2013	30	1,2	590,0	47,5	84,3	A, T, (PIMA)
P13	Hp	↘	28.11.1995-21.5.2013	30	0,5	3,2	1,0	1,1	A, T, (PIMA)
P15	Hp	↑	1.1.1995-21.5.2013	29	27,0	500,0	198,0	219,8	A, T, (PIMA)
P16	Hp	↗	1.1.1995-21.5.2013	29	1,2	4,4	2,5	2,6	A, T, (PIMA)
P17	Hp	↗	1.1.1995-21.5.2013	30	31,0	250,0	111,5	112,9	A, T, (PIMA)
P18	Hp	↘	1.1.1995-22.5.2013	25	0,5	146,0	1,0	6,9	A, T, (PIMA)
P19	Hp	↗	29.11.1995-21.5.2013	30	62,0	280,0	145,0	147,3	A, T, (PIMA)
P22	Hp	↗	22.10.1997-21.5.2013	20	0,4	2,8	1,0	1,2	A, T, (PIMA)
P23	Hp	↘	28.11.1995-21.5.2013	25	2,6	7,3	4,0	4,0	A, T, (PIMA)
P24	Hp	↗	9.10.1997-21.5.2013	24	1,9	5,8	3,8	3,8	A, T, (PIMA)
P25	Hp	↗	9.10.1997-21.5.2013	25	1,1	3,5	2,3	2,2	A, T, (PIMA)

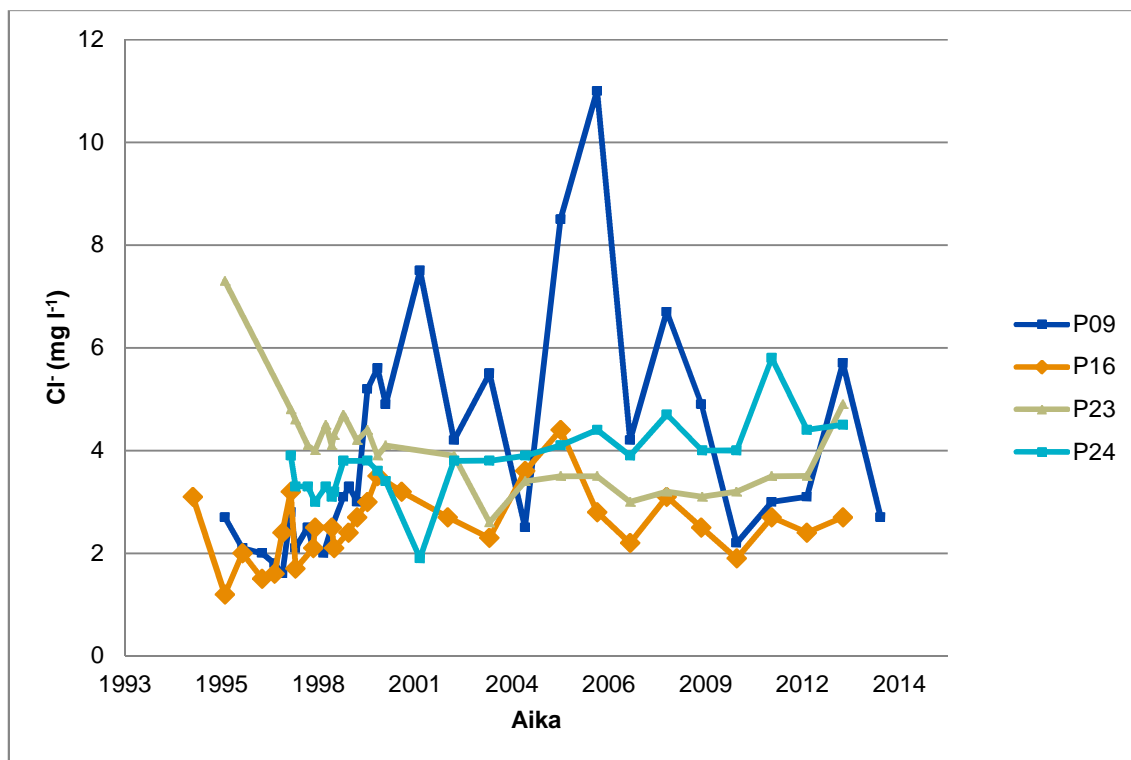
Havaintopisteet jakautuvat kloridipitoisuustasonsa perusteella selkeästi kolmeen eri tyyppiin: osassa havaintopisteissä kloridipitoisuustaso on luonnontilainen (Kuva 45), osassa kloridipitoisuus on hieman luonnontilaista korkeampi (Kuva 46) ja osassa kloridipitoisuudet ovat poikkeuksellisen korkeita (Kuva 47). Kuudessa havaintopisteessä kloridipitoisuus on hyvin alhainen, ja se vastaa luonnontilaisten pohjavesien kloridipitoisuutta. Vaikka pitoisuudet ovat pieniä (alle 5 mg l^{-1}), kloridipitoisuustrendi on osassa havaintopisteissä kuitenkin kasvava (havaintopisteet P04, P22 ja P25) tarkasteltaessa koko seurantahistorian ajanjaksoa. Toisaalta havaintopisteissä P13 ja P18 kloridipitoisuustrendit ovat laskevia, ja havaintopisteessä P07 kloridipitoisuuksissa ei ole tapahtunut muutoksia seurannan aikana. Analyysitulosten perusteella vaikuttaa siltä, että alueen luonnollinen kloridipitoisuustaso on hyvin alhainen, noin $1\text{--}3 \text{ mg l}^{-1}$. Tiesuolaus on vaikuttanut näihin kuuteen havaintopisteeseen melko vähän. Syynä ovat todennäköisesti pohjaveden paikalliset virtaussuunnat, tielle rakennettu luiskasuojaus, runsas tekopohjaveden imeyttäminen ja vedenotto.

Havaintopisteitä, joissa kloridipitoisuustaso on alle 10 mg l^{-1} , on Utin alueella yhteensä kymmenen. Edellisten kuuden havaintopisteen lisäksi havaintopisteissä P09, P16, P23,

P24 on mitattu alhaisia kloridipitoisuuksia. Pitoisuudet ovat kuitenkin hieman korkeampia kuin alueen luonnontilainen taso. Havaintopisteissä P09, P16 ja P24 kloridipitoisuustrendit ovat kasvavia ja tiesuolaus on saattanut vaikuttaa pitoisuuksiin. Havaintopisteessä P23 kloridipitoisuustrendi on muista poikkeava: trendi on ollut laskeva 1990-luvun lopulla ja 2000-luvun alussa, kun samaan aikaan muissa havaintopisteissä on tapahtunut pääsääntöisesti kloridipitoisuuksien kasvua. Havaintopiste P23, kuten myös havaintopisteet P22, P24 ja P25, sijaitsee alueella, jossa luiskasuojattujen tieosuuksien hulevedet johdetaan ympäristöön (vuodesta 2000 alkaen). Havaintopisteissä P22, P24 ja P25 kloridipitoisuustrendi on ollut lievästi kasvussa toisin kuin havaintopisteessä P23. Tähän on voinut vaikuttaa jokin geologinen tekijä tai esimerkiksi hulevesien kloridipitoisuuden laimeneminen vesien sekoittuessa muuhun veteen.



Kuva 45. Utin pohjavesialueen kloridipitoisuuksien kehitys niissä havaintopisteissä, joissa kloridipitoisuustaso on 1–3 mg l⁻¹. Kuvasta on rajattu pois havaintopisteen P18 yksittäinen suurempi kloridipitoisuustulos (146 mg l⁻¹ vuonna 1999).



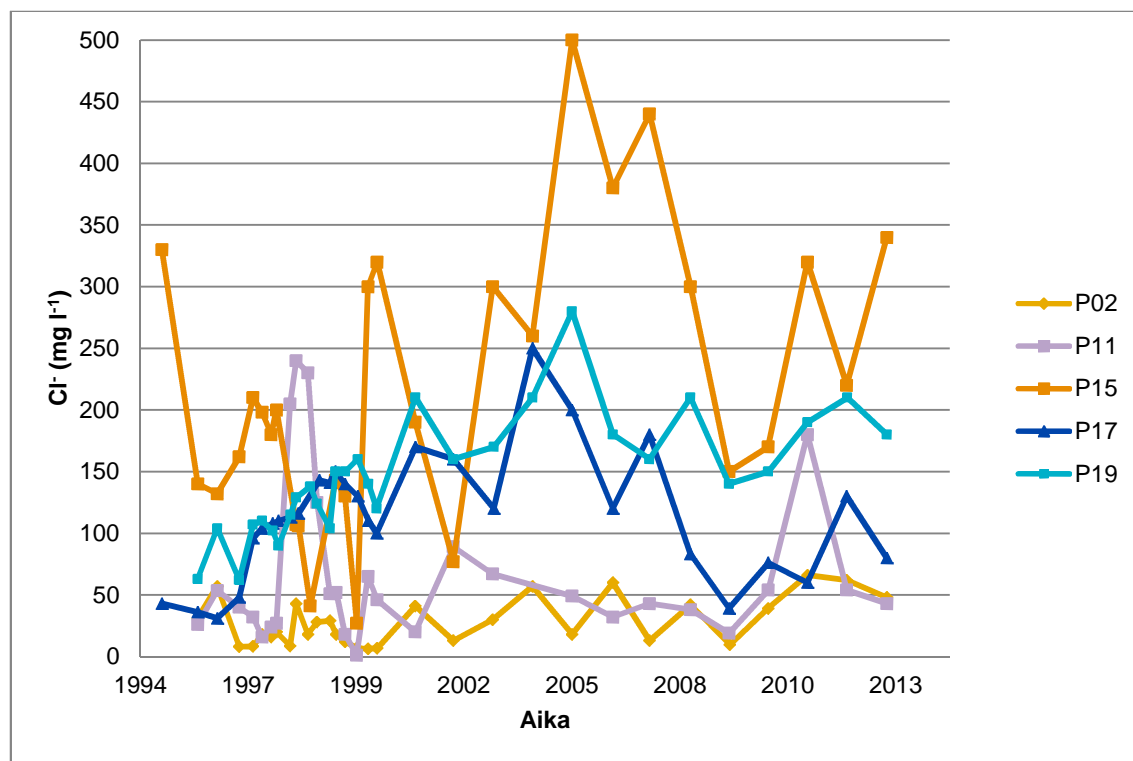
Kuva 46. Utin pohjavesialueen kloridipitoisuuksien kehitys niissä havaintopisteissä, joissa kloridipitoisuus on noussut luonnontilaisesta tasosta, mutta pitoisuudet alittavat selvästi talousveden suositusarvon 25 mg l⁻¹.

Pienten kloridipitoisuuksien lisäksi pohjavesialueelta on mitattu poikkeuksellisen suuria kloridipitoisuuksia (Kuva 47). Havaintopisteissä P17 ja P19 on mitattu yli 200 mg l⁻¹ kloridipitoisuuksia ja havaintopisteissä P11 ja P15 on mitattu jopa 500 mg l⁻¹ kloridipitoisuuksia. Näiden havaintopisteiden kloridipitoisuustrendit ovat voimakkaasti kasvavia tarkasteltaessa koko seurantahistoriaa. Toisaalta näiden havaintopisteiden kloridipitoisuudet ovat kääntyneet laskuun vuosien 2004–2005 aikana. Tiesuolausmäärässä ei ole tapahtunut tänä aikana oleellisia muutoksia. Ajallisesti muutokset voisivat olla yhteydessä luiskasuojuuksen rakentamiseen, mutta luiskasuojaus ei ole kattava ja sijaitsee etäällä havaintopisteistä P11, P17 ja P19. Havaintopiste P15 sijaitsee lyhyen luiskasuojatun tienosan itäpäässä, ja havaintopisteen trendin kääntyminen laskuun voi olla yhteydessä luiskasuojuuksen rakentamiseen.

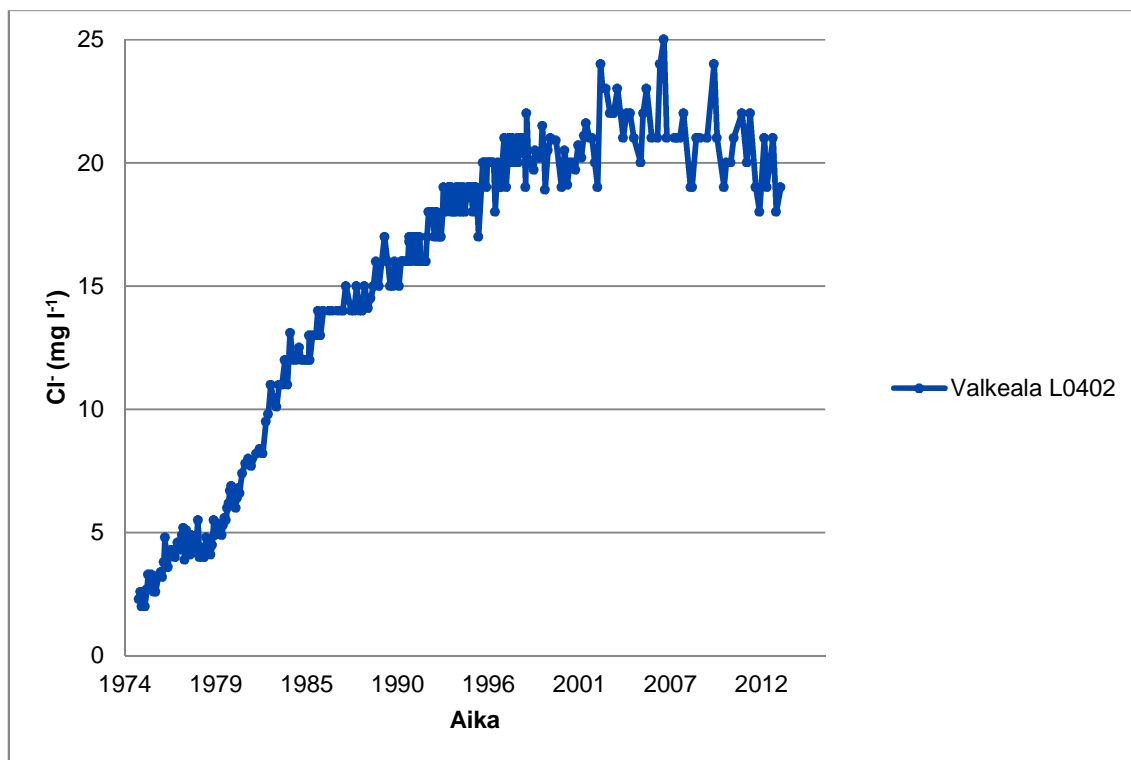
Muista poikkeavia havaintopisteitä alueella ovat havaintopisteet P02 ja Valkealan lähde 0402. Havaintopisteessä P02 kloridipitoisuuden mediaani on 19 mg l⁻¹ ja keskiarvo 28 mg l⁻¹. Trendi on voimakkaasti kasvava tarkasteltaessa koko seurantahistoriaa, eikä

trendi ole kääntynyt laskuun luiskasuojauksen rakentamisen jälkeen. Havaintopisteen P02 läheisyydessä ei ole luiskasuojauksia.

Valkealan lähde sijaitsee pohjavesialueen ulkopuolella ja etäällä suolattavista teistä. Kloridipitoisuustrendi on voimakkaasti kasvava tarkasteltaessa koko seurantahistorian ajanjaksoa. Vuonna 2006 trendi on kuitenkin kääntynyt laskuun (Kuva 48). Trendin muutos ei välttämättä ole yhteydessä valtatie 6:lle vuonna 2000 rakennettujen luiskasuojauksien kanssa, koska luiskasuojatut tieosuudet sijaitsevat useiden kilometrien päässä. Valkealan lähteestä voi mahdollisesti havaita koko pohjavesialueen keskimääräisen kloridipitoisuuskehityksen, koska sen purkama vesi on peräisin laajalta alueelta. Valkealan lähteestä on seurattu myös sulfaattipitoisuutta, joka on kääntynyt laskuun 2000-luvun alussa (Mäkinen 2014). Sulfaattipitoisuuden lasku voi olla seurausta happaman laskeuman vähentymisestä tai viitata pitoisuuksien laimenemiseen tekopohjaveden imeyttämisen seurauksena. Valkealan lähde sijaitsee pohjavesialueen ulkopuolella, eikä pohjaveden virtaussuuntia tunneta tarkasti tällä alueella. Valkealan lähteen pohjavedestä voisi tehdä lisätutkimuksia alkuaineiden suhteista.



Kuva 47. Utin pohjavesialueen kloridipitoisuuksien kehitys niissä havaintopisteissä, joilla on mitattu yli 25 mg l⁻¹ kloridipitoisuuksia.



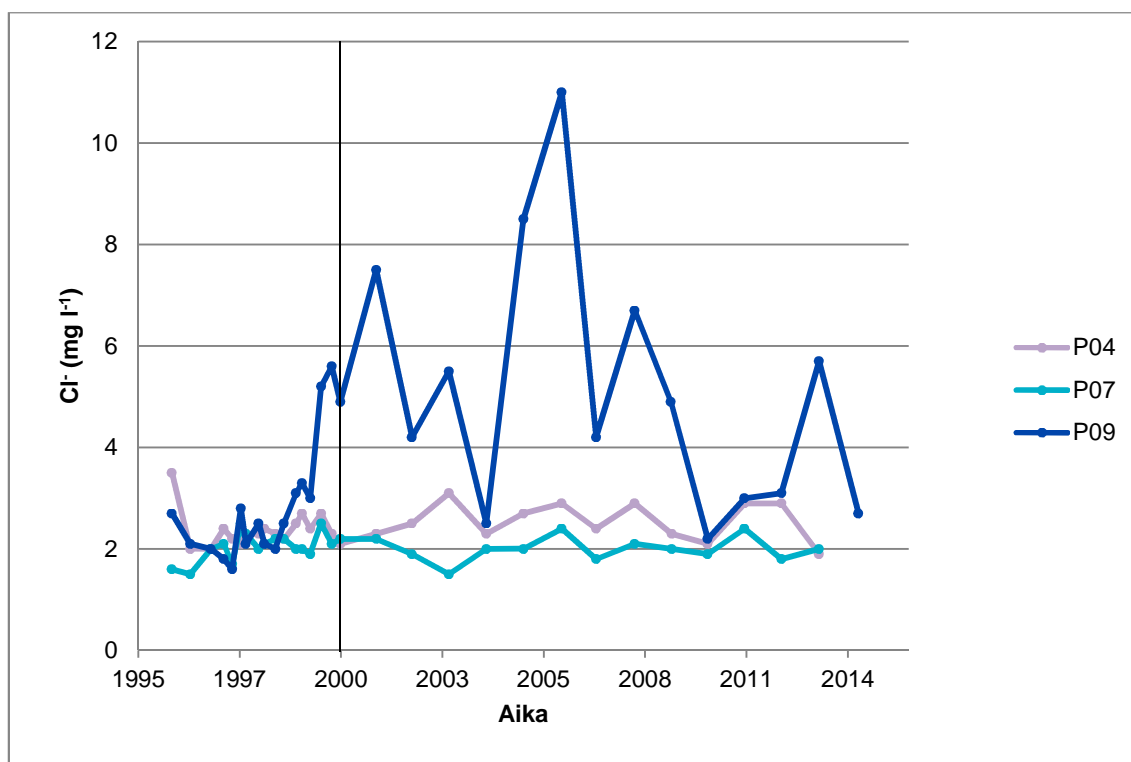
Kuva 48. Utin pohjavesialueen ulkopuolella sijaitsevan lähteen kloridipitoisuuksien kehitys vuosina 1975–2013. Kloridipitoisuuksien mediaani on 17,0 mg l⁻¹ ja keskiarvo 14,3 mg l⁻¹. n = 286.

Kloridipitoisuustrendien kääntyminen laskuun osassa Utin pohjavesialueen havaintopisteissä vuosina 2004–2006 on mahdollisesti aiheutunut tekopohjaveden imeyttämisestä, runsaammasta vedenotosta tai luiskasuojauksista.

9.4. Pohjavesisuojausten vaikutus

Pohjavesialueelle on rakennettu yhteensä noin 4,8 km pohjavesisuojauksia. Suojaukset sijoittuvat alueen länsi- ja keskiosaan. Uusin vuonna 2000 rakennettu luiskasuojaus (bentoniittimatto ja muovi) sijaitsee Haukkajärven vedenottamon läheisyydessä alueen länsiosassa. Havaintopisteet P04, P07 ja P09 sijaitsevat luiskasuojatun tieosuuden välittömässä läheisyydessä. Näistä havaintopisteistä mitatut kloridipitoisuudet ovat lähes luonnontilaisia, eikä luiskasuojauksen rakentaminen ole oleellisesti muuttanut kloridipitoisuustasoa tai -trendejä. Havaintopisteessä P07 kloridipitoisuus on mahdollisesti hieman laskenut luiskasuojauksen rakentamisen jälkeen (Kuva 49). Suurimmat kloridipitoisuuksien trendimuutokset alueella ovat tapahtuneet havaintopisteissä P17 ja P19 sekä Valkealan lähteessä 0402, joissa kasvava trendi on

kääntynyt laskevaksi vuosien 2004–2005 aikana. Havaintopisteet ovat kuitenkin pohjavesialueen itäosassa useiden kilometrien päässä luiskasuojatuista tieosuuksista. Pohjavesialueen suurimmat kloridipitoisuustrendien muutokset ovat voineet aiheutua luiskasuojauksista, tekopohjaveden imeyttämisestä tai runsaasta vedenotosta.

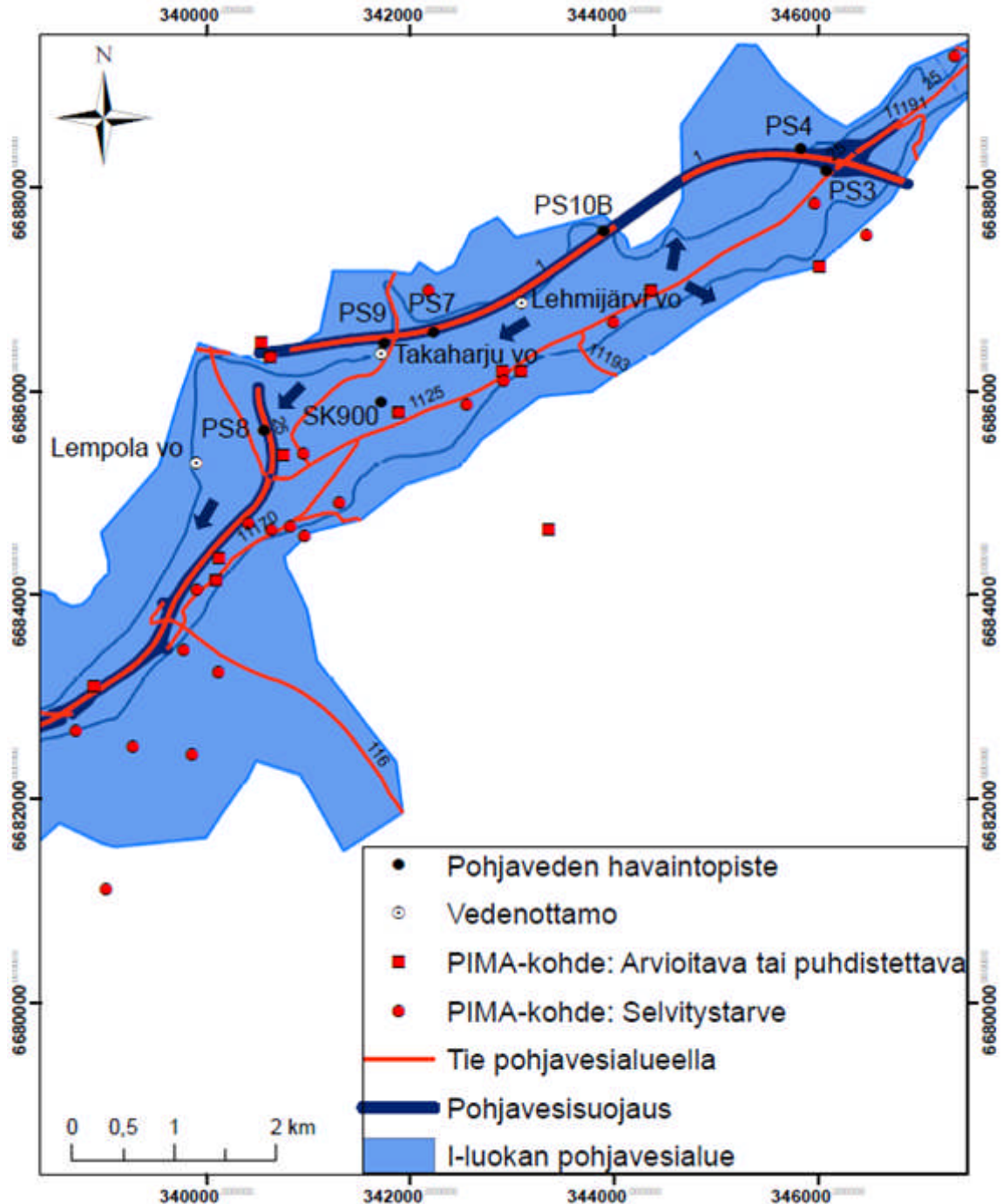


Kuva 49. Luiskasuojatun tieosuuden 6 / 202 välittömässä läheisyydessä sijaitsevien havaintopisteiden P04, P07 ja P09 kloridipitoisuuksien kehitys vuosina 1995–2014. Luiskasuojaus on rakennettu vuonna 2000 (pystyviiva).

Luiskasuojauksen rakentaminen on voinut vähentää tiesuolauksesta aiheutuvaa riskiä pohjavesialueen vedenottolaitoksille. Kloridipitoisuudet vedenottamoilla ovat olleet alle 25 mg l^{-1} (Kaakkois-Suomen ELY-keskus 2014). Valtatie 6:lle on suunniteltu uusi kattava pohjavesisuojaus Utin pohjavesialueelle Tykkimäen ja Kaipiaisen välille. Hankkeen ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA) on toteutettu vuonna 2009. Luiskasuojauksen rakentaminen aloitetaan todennäköisesti vuosina 2015–2016 (Kaakkois-Suomen ELY-keskus 2014).

10. TAPAUSTUTKIMUS: LOHJANHARJU B:N POHJAVESIALUE

Lohjanharjun pohjavesialue sijaitsee Lohjalla Etelä-Suomessa. Lohjanharju B:n pohjavesialue on esitetty Kuvassa 50.



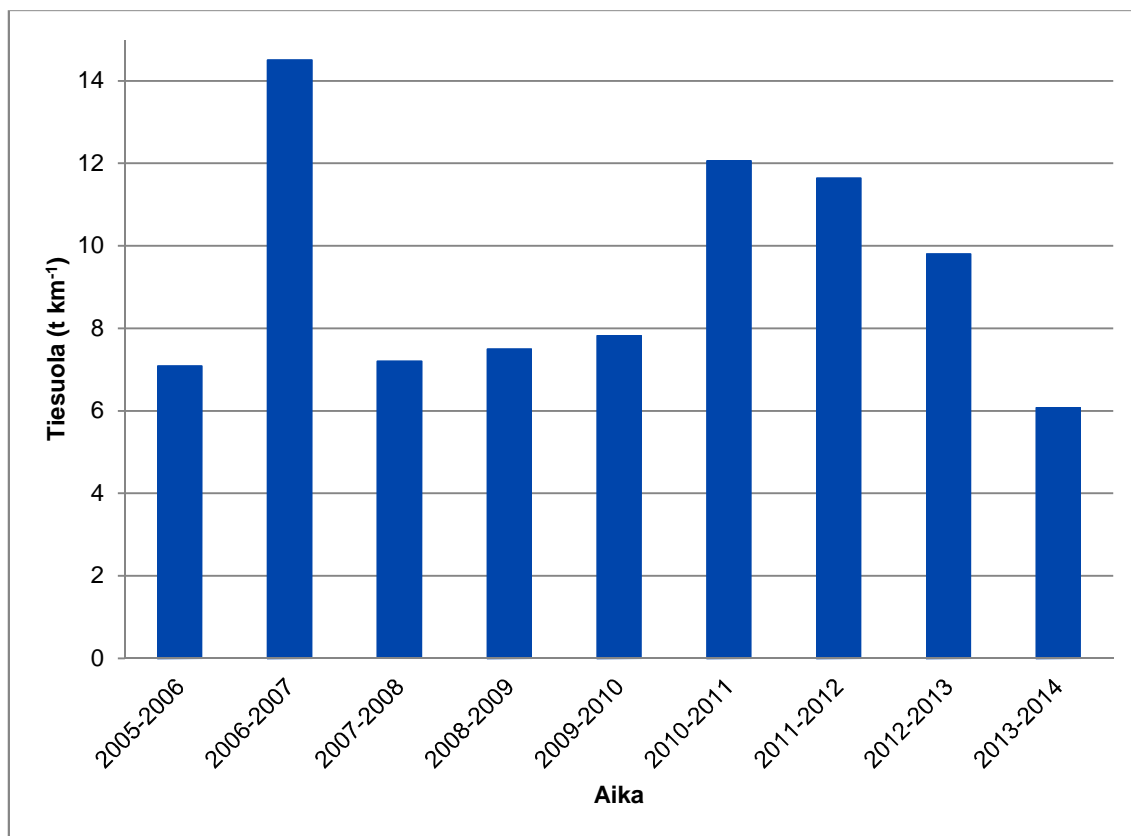
Kuva 50. Lohjanharju B:n pohjavesialueella olevat pohjaveden havaintopisteet, tiet, teiden pohjavesisuojaukset ja pilaantuneet maa-alueet (PIMA-kohteet), jotka on luokiteltu arvioitavaksi tai puhdistettavaksi tai joilla on selvitystarve. Pohjaveden paikalliset virtaussuunnat on esitetty nuolilla. Pohjavesialueet © SYKE ja Uudenmaan ELY-keskus 2014. Maaperän tilan tietojärjestelmä © SYKE 2012. Tieriskirekisteri TSRR © SYKE 2013. Pohjavesisuojaukset © Uudenmaan ELY-keskus 2014.

Lohjanharju on I-luokan pohjavesialue, jonka määrällinen ja kemiallinen tila on luokiteltu hyväksi. Lohjanharju jakautuu kahteen osaan, joiden välillä ei ole hydraulista yhteyttä. Tapaustutkimusalueeksi on valittu Lohjanharjun B-osa. Lohjanharju B:n kokonaispinta-ala on $23,0 \text{ km}^2$ ja pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala on $9,1 \text{ km}^2$. Lohjanharju B:n kokonaispinta-ala on muihin ensimmäisen Salpausselän pohjavesialueisiin nähden keskimääräistä suurempi. Pohjaveden muodostumispinta-ala on hieman keskimääräistä suurempi (Liite 1). POVET-rekisterin mukaan Lohjanharju B:n pohjavesialueella muodostuu pohjavettä arviolta $7\,500 \text{ m}^3 \text{ vrk}^{-1}$. Vedenottolaitoksia on kolme: Lempolan, Takaharjun ja Lehmijärven vedenottamot. Lisäksi alueella on yksityinen vedenottamo sekä useita talousvesikaivoja. Vedenottamoiden yhteenlaskettu vedenottomäärä on noin $3\,500 \text{ m}^3 \text{ vrk}^{-1}$.

10.1. Tiesuolaus pohjavesialueella

Valtatie 1 kulkee Lohjanharju B:n pohjavesialueella pitkittäisesti, ja se kuuluu talvihoitoluokkaan Is (2-ajoratainen) eli se on sään muutostilanteita lukuun ottamatta paljas. Valtatie 1 on rakennettu vuonna 2005. Talvikausien 2005–2014 keskimääräinen tiesuolausmäärä oli $9,3 \text{ t km}^{-1} \text{ v}^{-1}$ (Kuva 51). Tien pituus pohjaveden muodostumisalueella on noin 8 km. Valtatie 1:lle on rakennettu pohjavesisuojaus (bentoniittimatto ja muovi) tien rakentamisen yhteydessä. Luiskasuojauks on rakennettu koko pohjavesialueelle.

Valtatie 25 kulkee Lohjanharju B:n pohjavesialueella. Tieosa muutettiin moottoritieksi vuonna 2005. Tie kuuluu nykyisin Is-luokkaan ja on pohjavesialueen kohdalla 2-ajoratainen. Keskimääräinen suolausmäärä oli talvikausina 2004–2014 $9,9 \text{ t km}^{-1} \text{ v}^{-1}$ olettaen, ettei tien hoitoluokka ole muuttunut. Vuonna 1997 suolausmäärä oli $13,5 \text{ t km}^{-1}$, ja tien pituus pohjavesialueella oli 15,0 km (Nystén et al. 1999). Valtatie 25:lle rakennettiin luiskasuojauks (bentoniittimatto ja muovi) todennäköisesti muiden rakennustöiden yhteydessä vuonna 2005. Luiskasuojauks kattaa pohjaveden muodostumisalueen.



Kuva 51. Keskimääräinen tiesuolausmäärä sekä valtatie 1:llä että valtatie 25:llä talvikausina 2005–2014. Arvot on saatu laskennallisesti tiehallinnon Aura-tietojärjestelmään tallennettujen tiepiirien ja urakka-alueiden kokonaissuolausmäärien ja eri hoitoluokkiin kuuluvien teiden ajoratakilometrimäärien perusteella.

Valtateiden 1 ja 25 lisäksi pohjavesialueella on useita yhdysteitä (esim. 1090 ja 11169), jotka kuuluvat talvihoitoluokkiin Ib tai II. Suolausmäärät ovat huomattavasti pienempiä kuin valtateilla. Esimerkiksi yhdystien 1090 / 004, joka sijaitsee noin 580 metrin päässä Lempolan vedenottamosta, keskimääräinen suolausmäärä oli $2 \text{ t km}^{-1} \text{ v}^{-1}$ talvikausina 2004–2014. Tie kuuluu talvihoitoluokkaan Ib eli se on osan talvea polannepintainen. Yhdystie 11169 sijaitsee 60 metrin päässä Takaharjun vedenottolaitoksesta, ja sen keskimääräinen suolausmäärä oli $0,2 \text{ t km}^{-1} \text{ v}^{-1}$ talvikausina 2004–2014. Yhdystie 11169 kuuluu talvihoitoluokkaan II eli se on talvisin pääasiassa polannepintainen. Pohjavesialueella sijaitseville yhdysteille ei ole rakennettu luiskasuojauksia. Ramboll Finland Oy:n (2011) raportin mukaa teiden yhteenlaskettu suolausmäärä Lohjanharju B:n pohjavesialueella on noin 245,7 tonnia vuodessa.

10.2. Geologinen ympäristö

POVET-rekisterin tietojen perusteella Lohjanharju B:n pohjavesialue sijaitsee ensimmäisen Salpausselän reunamuodostumassa. Lohjan kaupungin alueella I Salpausselkä kohoaa paikoin yli 70 metriä ympäristöään korkeammalle. I Salpausselän kaakkoisreunaa pitkin kulkee todennäköisesti kalliolaakso. Alueella esiintyy paikoin kymmeniä metrejä paksuja sedimenttikerroksia. Kerrospaksuudet ovat melko vaihtelevia johtuen kallioperän topografiasta. Muodostuman kaakkoisosissa esiintyy hienoa hiekkaa ja silttiä. Pohjavesialueen pohjoisreunalla esiintyy moreenilinssejä, jotka heikentävät pohjaveden virtausta. Alueella esiintyy myös kalliopohjavettä. Pohjavesialue on antiklininen eli ympäristöönsä vettä purkava. Pohjavedenjakaja kulkee reunamuodostuman suuntaisesti sen keskiosassa. Suurin osa pohjavedestä purkautuu I Salpausselän luoteis- ja kaakkoispuolelle (Ramboll Finland Oy 2011). Hännisen et al. (1994) mukaan pohjavesialue kuuluu tyyppimuodostumaluokkaan IV eli se on Salpausselkätyyppinen reunamuodostuma.

Ahosen et al. (1999) tutkimusten perusteella pohjaveden kyllästämän maakerroksen paksuus alueella on tyypillisesti 10–20 metriä. Pohjavesialueen pohjoisreunalla kalliopinta on useilla alueilla pohjavedenpinnan yläpuolella. Pohjaveden kyllästämän kerroksen paksuus on suurimmillaan (20–40 m) pohjavesialueen keskiosissa Muijalannummen länsi- ja lounaispuolella.

10.3. Pohjaveden kloridipitoisuustaso

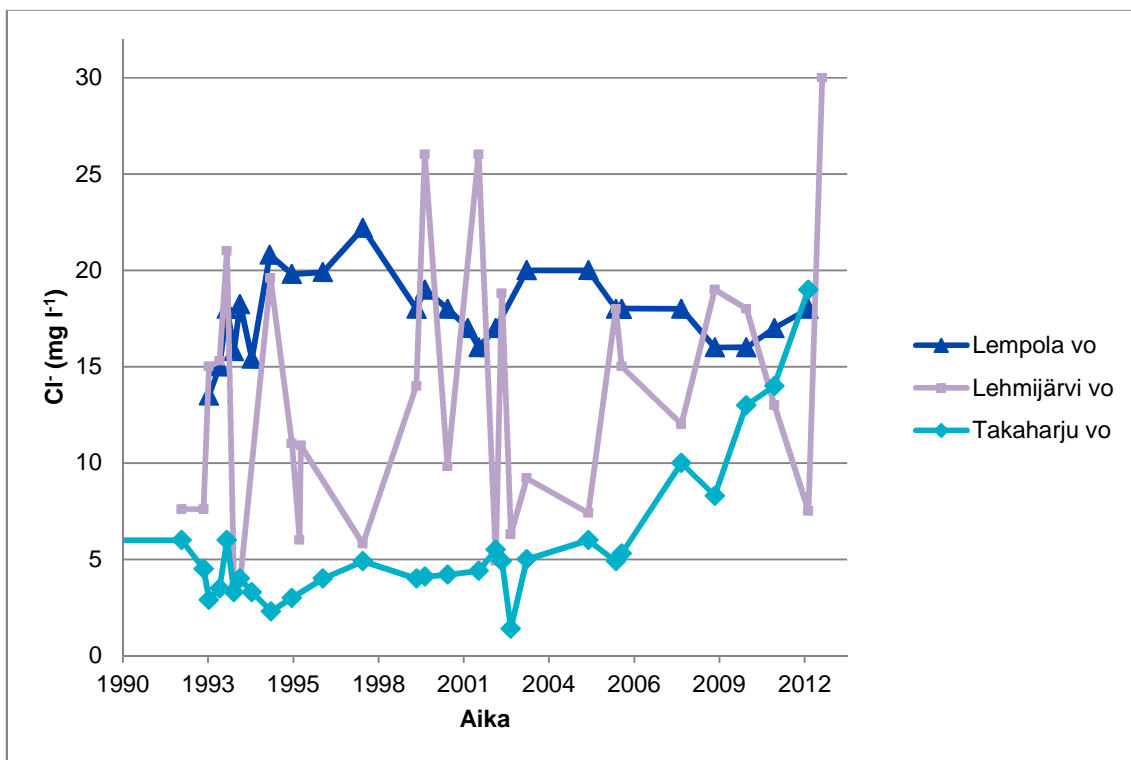
Tutkimuksessa on mukana 10 havaintopistettä Lohjanharju B:n pohjavesialueelta (Taulukko 10). Havaintopisteet ovat pääasiassa pohjaveden havaintoputkia, joiden kloridipitoisuutta on seurattu 2000-luvulla yli 10 vuoden ajan. Havaintopisteistä kolme on vedenottamoita, joista Takaharjun vedenottamon veden kloridipitoisuutta on mitattu 1960-luvulta ja Lehmijärven ja Lempolan vedenottamoiden veden kloridipitoisuutta 1990-luvulta lähtien. Havaintopisteistä on otettu keskimäärin noin 30–35 näytettä seurantahistorian aikana. Valtatie 1:n läheisyydessä sijaitsevat pohjavesiputket on asennettu tien rakentamisen suunnittelun yhteydessä.

Lohjanharju B:n alueella pohjaveden kloridipitoisuustaso on ollut alle 25 mg l⁻¹ ennen 2000-luvun puoliväliä. Vedenottamoiden kloridipitoisuusseurannan perusteella tiesuolaus ja mahdolliset muut Cl-lähteet, kuten asutus, teollisuus, maa-aineksen otto ja pilaantuneet maa-alueet ovat kuitenkin jo vaikuttaneet pohjaveden tilaan 1990-luvulla. Kloridipitoisuudet ovat kasvaneet 2000-luvulla valtatie 1 rakentamisen seurauksena. Vedenottamoilla kloridipitoisuusmuutokset ovat kuitenkin olleet melko pieniä. Takaharjun vedenottamolla kloridipitoisuus on kääntynyt voimakkaaseen kasvuun vuonna 2006, kun taas Lempolan vedenottamolla kloridipitoisuustrendi on ollut laskussa 1990-luvun lopun huippuarvojen jälkeen (Kuva 52). Lehmijärven vedenottamolla kloridipitoisuus on ollut hyvin vaihteleva koko seurantahistorian ajan, mihin on voinut vaikuttaa se, että näytteenottotiheys on ollut harva. Kloridipitoisuustrendi on Lehmijärven vedenottamolla ollut kasvava tarkasteltaessa koko seurantahistoriaa, mutta muutokset eivät mahdollisesti ole yhteydessä valtatie 1 rakentamiseen.

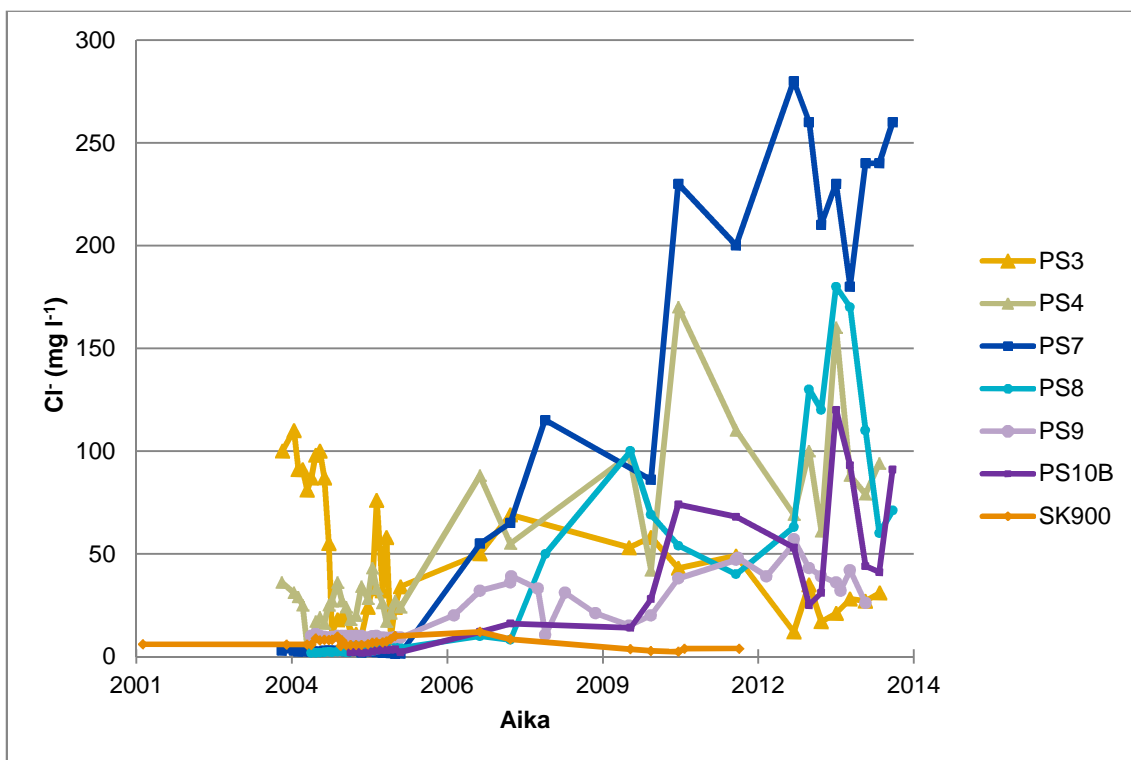
Taulukko 10. Lohjanharju B:n pohjavesialueen kloridipitoisuustrendit, havaintopisteiden seuranta-ajanjaksot, havaintojen lukumäärä sekä havaintopisteiden kloridipitoisuuksien minimi- ja maksimiarvot (mg l⁻¹), mediaanit (mg l⁻¹) ja keskiarvot (mg l⁻¹). Pohjavesialueella kloridipitoisuuteen voivat mahdollisesti vaikuttaa tiesuolauksen lisäksi asutus (A), teollisuus (T), maa-aineksen otto (Ma) ja pilaantuneet maa-alueet (PIMA).

Havaintopiste	Havaintopisteen tyyppi	Cl-trendi koko seurantahistorian ajalta	Seuranta-aika	n	Kloridipitoisuus (mg/l)				Muut mahdolliset Cl-lähteet kuin tiesuola
					min	max	md	ka	
Lehmijärvi vo	K	↗	24.3.1992-23.10.2012	29	3,5	30,0	12,0	13,2	A, T, Ma, PIMA
Lempola vo	K	→	8.2.1993-15.5.2012	25	13,5	22,2	18,0	17,8	A, T, Ma, PIMA
Takaharju vo	K	↗	1.1.1967-15.5.2012	30	1,4	19,0	4,9	5,8	A, T, Ma, PIMA
SK900	Hp	↘	30.5.2001-30.11.2011	30	2,3	12,0	6,4	6,6	A, T, Ma, PIMA
Vt1, PS10B	Hp	↑	25.1.2005-12.8.2014	25	1,8	120,0	14,0	29,5	A, T, Ma, PIMA
Vt1, PS3	Hp	↓	14.11.2003-22.5.2014	38	9,0	110,0	34,5	47,0	A, T, Ma, PIMA
Vt1, PS4	Hp	↑	11.11.2003-19.5.2014	38	4,1	170,0	30,0	48,1	A, T, Ma, PIMA
Vt1, PS7	Hp	↑	11.11.2003-13.8.2014	39	1,3	280,0	2,8	69,5	A, T, Ma, PIMA
Vt1, PS8	Hp	↑	18.5.2004-13.8.2014	36	1,8	180,0	6,0	36,3	A, T, Ma, PIMA
Vt1, PS9	Hp	↑	18.5.2004-19.2.2014	43	9,1	57,0	11,0	22,4	A, T, Ma, PIMA

Pohjavesiputkissa kloridipitoisuuksien muutokset ovat olleet voimakkaita vuodesta 2005 alkaen (Kuva 53). Pohjavesiputkissa PS4, PS7, PS8, PS9 ja PS10B kloridipitoisuudet kohosivat selvästi. Alueen korkeimmat kloridipitoisuudet on mitattu pohjavesiputkista PS4, PS7 ja PS8, joissa kloridipitoisuus on ajoittain ylittänyt 150 mg l⁻¹. Korkein mitattu kloridipitoisuus Lohjanharju B:n pohjavesialueella tässä aineistossa on 280 mg l⁻¹, joka mitattiin pohjavesiputkesta PS7 marraskuussa 2012.



Kuva 52. Lohjanharju B:n pohjavesialueella sijaitsevien vedenottamoiden kloridipitoisuudet vuodesta 1992 alkaen. Takaharjun vedenottamolla veden kloridipitoisuutta on seurattu 1960-luvulta alkaen, ja kloridipitoisuudet ovat olleet alle 7 mg l^{-1} ennen 1990-lukua.



Kuva 53. Lohjanharju B:n pohjavesialueella sijaitsevien pohjavesiputkien kloridipitoisuudet vuosina 2001–2014.

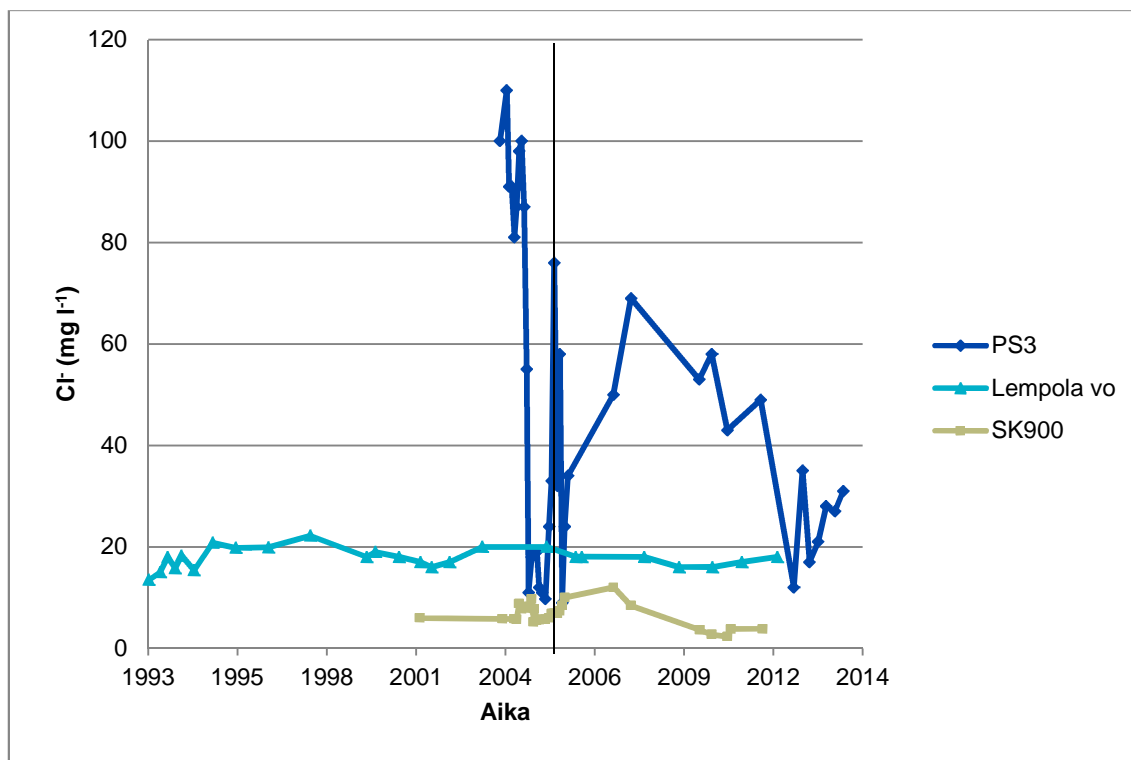
Lohjanharju B:n pohjavesialueella kloridipitoisuustrendit ovat olleet 2000-luvulla pääasiassa kasvavia tai voimakkaasti kasvavia tarkasteltaessa koko seurantahistoriaa. Pohjavesiputkessa SK900 kloridipitoisuudet ovat pysyneet melko tasaisina. Useassa pohjavesiputkessa kloridipitoisuuden vaihtelu on suurta. Kloridipitoisuuden vaihteluun vaikuttaa osittain melko harva näytteenottotiheys sekä mahdollisesti se, että tien läheisyydessä sijaitsevilla pohjavesiputkissa kloridipitoisuus saattaa muuttua nopeasti tieltä kulkeutuvan suolan määrän vaihdellessa.

10.4. Pohjavesisuojausten vaikutus

Lohjanharju B:n pohjavesialueella sijaitseville valtateille 1 ja 25 on rakennettu luiskasuojauksia vuonna 2005. Valtatie 1 läheisyyteen asennettujen pohjavesiputkien kloridipitoisuusseurannan perusteella valtatie 1:n rakentaminen on nostanut alueen pohjaveden kloridipitoisuuksia, eikä luiskasuojaus (bentoniittimatto ja muovi) ole estänyt pohjaveden pilaantumista.

Luiskasuojaukset saattavat joissain kohdissa vähentää tieltä kulkeutuvien suolapitoisten hulevesien pääsyä pohjaveteen. Esimerkiksi Lempolan vedenottamolla kloridipitoisuus on ollut melko tasainen sekä ennen valtatie 1:n rakentamista että sen rakentamisen jälkeen. Pohjavesiputkessa SK900 kloridipitoisuustrendi on ollut lievästi laskussa vuodesta 2007 alkaen. Pohjavesiputkessa PS3 kloridipitoisuuden vaihtelu on ollut suurta, mutta vuodesta 2007 alkaen trendi on saattanut kääntyä laskuun (Kuva 54). Todennäköistä on, että kloridipitoisuuden ajoittaisiin pienempiin arvoihin on myös vaikuttanut vähäisempi suolausmäärä esimerkiksi talvikausina 2007–2010.

Pohjaveden kloridipitoisuus on huomattavasti noussut Lohjanharju B:n pohjavesialueella valtatie 1 rakentamisen jälkeen. Kloridipitoisuuksien perusteella vaikuttaa siltä, etteivät teiden luiskasuojaukset estä ainakaan täydellisesti kloridipitoisten hulevesien pääsyä tieltä pohjavesiin. Pohjavesialueen valtateilla natriumkloridi on osittain korvattu kaliumformiaatilla talvikaudesta 2014–2015 alkaen.



Kuva 54. Luiskasuojaukset valtateille 1 ja 25 rakennettiin vuonna 2005 (pystyviiva). Luiskasuojauksista todennäköisemmin pohjaveden kloridipitoisuuksien laskuun on vaikuttanut suolauksen vähäisempi kokonaismäärä talvikausina 2007–2010.

11. JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDESUOSITUKSET

11.1. Ensimmäisen Salpausselän alueen pohjaveden kloridipitoisuuksien kehitys

Ensimmäisen Salpausselän alue on tutkimusalueena heterogeeninen sekä tiesuolauskäytäntöjen että geologisten olosuhteiden suhteen. Natriumkloridia on käytetty alueella teiden liukkaudentorjunnassa noin 50–60 vuoden ajan. Tiesuolaus on vaikuttanut alueen pohjavesien tilaan ja pohjaveden kloridipitoisuus ei enää vastaa luonnontilaista tasoa monella pohjavesialueella. Luonnollinen kloridipitoisuus alueella on alle 10 mg l⁻¹, ja paikoin jopa alle 5 mg l⁻¹, lukuun ottamatta joitakin alueita rannikkoseudulla ja muinaisen Litorinameren vaikutusalueella. Yksittäiset pohjavedestä mitatut kloridipitoisuudet vaihtelivat alueella 0,4–700 mg l⁻¹ ajanjaksolla 1955–2014. Koko aineiston kloridipitoisuustrendi on kasvava samalla ajanjaksolla.

Tutkimusaineiston pohjaveden kloridipitoisuuksien keskiarvo on 27,7 mg l⁻¹ ja mediaani 14,0 mg l⁻¹. Kloridin ympäristölaatunormi (25 mg l⁻¹) ja terveysviranomaisten asettama suositusarvo talousvedelle (25 mg l⁻¹) ylittyy 26 % alueen kloridipitoisuushavainnoissa. Terveysviranomaisten asettama suositusarvo (100 mg l⁻¹) pienille talousvesiyksiköille ylittyy 5 %:ssa havainnoista. Tarkasteltaessa pelkästään kaivoja ja vedenottolaitosten hanoja (n = 3120), kloridipitoisuus on vähintään 25 mg l⁻¹ 20 % havainnoista. Osa näistä kaivoista ei kuitenkaan ole talousvesikäytössä ja osa vedenottamoista on suljettu. Tässä tutkimusaineistossa mukana olevat vedenottamot ja kaivot, joilta on ainakin kerran mitattu yli 25 mg l⁻¹ kloridipitoisuus seurantahistoriansa aikana, on esitetty Liitteessä 5.

Aineiston perusteella suurin pohjaveden kloridipitoisuuden mediaani ensimmäisen Salpausselän alueella on mitattu ajanjaksolla 1993–1998. Koko Suomessa tiesuolaa käytettiin eniten ajanjaksolla 1988–1992. Tiesuolaus vaikuttaa pohjavesien kloridipitoisuuteen tyypillisesti usean vuoden viiveellä (Hellstén et al. 2004). Ajanjaksoilla 1999–2006 ja 2007–2014 tutkimusalueen pohjavesien kloridipitoisuuden mediaani on hieman laskenut sekä Uudenmaan, Hämeen että Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen alueella. Kloridipitoisuustason laskua on tapahtunut kloridipitoisuusluokassa 10–24,9 mg l⁻¹ ja luokassa ≥ 25 mg l⁻¹. Pienimpien pitoisuuksien luokassa (alle 10 mg l⁻¹) kloridipitoisuuden mediaani on sitä vastoin noussut 2000-luvun aikana. Tämä tarkoittaa, että 2000-luvun alussa kloridipitoisuustasoltaan luonnontilaisia alueita on tullut tiesuolauksen vaikutuspiiriin tai suolausmäärää on lisätty myöhemmin 2000-luvun aikana. Tiesuolausmäärien ja -käytäntöjen muutokset sekä suojelutoimenpiteet on tutkimustulosten perusteella kohdistettu alueille, joissa pohjaveden kloridipitoisuustaso on jo noussut luonnontilaisesta, ja näiden toimenpiteiden vaikutus alkaa hitaasti näkyä pohjaveden kloridipitoisuuden laskuna.

Yksittäiset hyvin suuret kloridipitoisuusarvot ovat yleistyneet 2000-luvulla. Ääriarvojen yleistyminen näkyy koko aineiston kloridipitoisuuden keskiarvon kohoamisena ja hajonnan kasvuna. Tämä on todennäköisesti ainakin osittain seurausta kloridiseurannan tehostamisesta ja uusien pohjavesiputkien asentamisesta teiden välittömään läheisyyteen, jossa kloridipitoisuustaso on tilastollisen analyysin perusteella yleensä korkeampi kuin kauempana tiestä. Toisaalta myös useilla vedenottamoilla kloridipitoisuustrendi on ollut kasvussa tarkasteltaessa koko seurantahistoriaa. Koko

aineistossa on 32 havaintopistettä, joissa on ainakin kerran mitattu vähintään 100 mg l⁻¹ kloridipitoisuuksia. Vain neljässä näistä havaintopisteistä kloridipitoisuuteen voi ajoittain vaikuttaa meriveden sekoittuminen pohjaveteen. Havaintopisteet, joista on mitattu vähintään 100 mg l⁻¹ kloridipitoisuuksia, ovat pääasiassa pohjavesiputkia, jotka sijaitsevat joidenkin kymmenien metrien etäisyydellä tiestä (Liite 2 ja Liite 4).

Tiesuola poistuu pohjavesimuodostumista hitaasti. Pitkäaikainen tiesuolan pääsy pohjaveteen nostaa pohjaveden kloridipitoisuustasoa. Muutokset pohjaveden kloridipitoisuuksissa ovat usein hitaita, vaikka kloridisuolaus lopetettaisiin kokonaan tai pohjavesialueelle rakennettaisiin toimiva luiskasuojaus.

11.2. Pohjaveden kloridipitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä

Pohjavesien kloridipitoisuuksissa on alueellisia eroja esimerkiksi kuntien, teiden kunnossapidon urakka-alueiden ja ELY-keskusten välillä. Tähän ei yleensä vaikuta pelkästään mikään yksittäinen tekijä. Havaintopisteiden kloridipitoisuustaso on aineiston perusteella hyvin tapauskohtainen, ja siihen vaikuttaa useita tekijöitä samanaikaisesti. Myös samalla pohjavesialueella voidaan havaita hyvin erilaisia kloridipitoisuuksia. Tilastollisen analyysin perusteella suurin yhteys havaittuihin kloridipitoisuuksiin on tien etäisyydellä havaintopisteestä (Pearsonin korrelaatiokerroin $r = -0,19$), pitkänajan tiesuolauksen keskiarvolla ($r = 0,18$), pohjavesialueen kokonaispinta-alalla ($r = -0,12$) ja pohjaveden muodostumisalueen pinta-alalla ($r = -0,12$), saman talvikauden tiesuolausmäärällä ($r = 0,11$) ja muodostuvan pohjaveden määrällä ($r = -0,11$). Edellä mainituissa tapauksissa korrelaatio on tilastollisesti merkitsevä (p-arvo on $< 0,05$). Tutkimuksessa mukana olevat tekijät selittävät usean muuttujan regressioanalyysin perusteella kuitenkin vain osan (regressiomallista riippuen noin 7–15 %) havaituista kloridipitoisuuksista. Tällä hetkellä käytettävissä oleva pääsääntöisesti pohjavesialuekohtainen tieto ei riitä kokonaan selittämään kloridipitoisuuksien vaihtelua esimerkiksi saman pohjavesialueen sisällä. Myös suolaushistoria pohjavesialueilla tunnetaan puutteellisesti.

11.3. Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten hallinta

Kohonneet pohjaveden kloridipitoisuudet vaikeuttavat pohjaveden käyttöä talousvetenä. Kloridi voi liuottaa metalleja maaperästä pohjaveteen (Hellstén et al. 2002) sekä vesijohtoverkostosta käyttöveteen. Jo kymmenien mg l⁻¹ kloridipitoisuudet vedessä voivat aiheuttaa metallisten vesikalusteiden korroosiota yhteisvaikutuksessa muiden pohjaveden ominaisuuksien, kuten alhaisen alkaliniteettiarvon kanssa (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2000.) Veden korrosiivisuus aiheuttaa kustannuksia vesilaitoksille ja yksityiskaivojen omistajille.

Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten hallinta perustuu pohjaveden tilan sekä tiesuolausmäärien jatkuvaan seurantaan. Pohjaveden kloridipitoisuuksien seuranta on tehostunut 2000-luvulla. On tärkeää, että seuranta jatketaan sekä alueilla, joilla on jo tehty pohjaveden suojelutoimenpiteitä että sellaisilla alueilla, joilla suojelutoimenpiteille ei ole ollut tarvetta. Ensimmäisen Salpausselän alueelta on olemassa runsaasti pohjaveden kloridipitoisuustietoa, mutta seurannat eivät aina ole ajallisesti riittävän pitkiä tai näytteenottotiheydeltään riittäviä luotettavaan tiesuolauskäytäntöjen muutosten tutkimiseen. Tiesuolausmäärien ja -käytäntöjen muutokset sekä suojelutoimenpiteet näkyvät pohjavesien tilassa vuosien viiveellä, joten pitkät seurannat ovat välttämättömiä arvioitaessa esimerkiksi luiskasuojauksien toimivuutta ja tiesuolauskäytäntöjen muutosten vaikutuksia. Jotta pohjavesivaikutuksia voitaisiin tutkia ja ymmärtää entistä paremmin, tiesuolausmäärien tilastoinnin tulisi tarkentua ainakin pohjavesialueilta. Tiekohtaisia suolausmääriä ei tällä hetkellä tilastoida, joten esimerkiksi tieto tietyllä pohjavesialueella käytetystä suolan kokonaismäärästä jää puutteelliseksi. Tarkempi tieto tiekohtaisista suolausmääristä auttaisi arvioimaan luotettavammin suolauskäytäntöjen ja muiden toimenpiteiden vaikuttavuutta.

TSRR kehitettiin 1990-luvulla tiesuolauksen pohjavesivaikutusten hallinnan tueksi. Vuonna 2013 tiehallinnon ja SYKEN yhteisprojektissa TSRR liitettiin osaksi POVET-rekisteriä. TSRR:n avulla pystytään yksilöimään ne pohjavesialueet, joissa tiesuolauksesta aiheutuu vedenoton kannalta suurin riski ja jotka vaativat kiireellisimmin pohjaveden suojelutoimenpiteitä. Tulevaisuudessa TSRR:ä on tarkoitus päivittää vuosittain, ja tiedon lisääntyessä rekisteri on hyödyllinen apuväline tunnistaa

riskialueet ja riskinaiheuttajat sekä hallita ja ennaltaehkäistä tiesuolauksen pohjavesivaikutuksia ennen kaikkea vedenottoalueilla.

Tiesuolauksesta aiheutuvaa pohjaveden kloridipitoisuuden kasvua voidaan vähentää monin tavoin. Keinoja ovat suolauksen vähentäminen pohjaveden muodostumisalueella, luiskasuojauksen rakentaminen, vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden käyttö ja hulevesien kerääminen suoraan pois tieltä esimerkiksi betonikaiteiden avulla, ettei vesi kulkeudu hallitsemattomasti ympäristöön. Jokaisessa käytännössä on sekä etuja että heikkouksia.

11.3.1. Tiesuolausmäärän vähentäminen

Pohjavesialueilla tiesuolauksen vähentämismahdollisuuksien selvittäminen ja käyttömäärän optimoiminen on tarpeellista. Silloin kun tiesuolausta vähennetään merkittävästä tai se lopetetaan tietyllä alueella kokonaan, liikenneturvallisuus voidaan taata muilla keinoin, esimerkiksi nopeusrajoituksia laskemalla tai ohjaamalla liikenne vaihtoehtoiselle tielle. Suolamäärien optimoiminen voitaisiin toteuttaa nykyistä tarkemmin esimerkiksi kunnossapitokalustoon asennettavan GPS-sovelluksen avulla. Pohjavesialueiden ja pohjaveden muodostumisalueiden rajat tunnetaan, ja ne ovat saatavilla paikkatietoaineistona. Sovelluksen avulla voitaisiin kerätä tarkempaa tietoa pohjavesialueilla käytettävän tiesuolan määrästä. Suolauksen vähentäminen ei kuitenkaan ole kaikissa tapauksissa mahdollista. Silloin on tapauskohtaisesti harkittava luiskasuojauksen rakentamista tai vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden käyttöä.

11.3.2. Luiskasuojaukset

Luiskasuojauksien hyödyllinen ominaisuus on se, että ne estävät onnettomuustilanteissa myös muita haitallisia aineita kulkeutumasta tieltä pohjavesiin. Luiskasuojauksen rakentaminen on kuitenkin kallista ja teknisesti haastavaa erityisesti jo olemassa oleville teille. Luiskasuojausta varten pohjavesialueen rakenne ja virtausolosuhteet tulee tuntea riittävän hyvin, jotta suojauksesta tulee kattava. Luiskasuojauksen rakentamisen yhteydessä suolapitoisten hule- ja sulamisvesien purkupaikat on valittava ja dokumentoitava huolellisesti, jotta vedet eivät aiheuta vesistöjen, soiden tai toisen pohjavesialueen osan pilaantumista. Pohjavesien tilaa on seurattava sekä

luiskasuojauksen että hulevesien purkupaikkojen läheisyydessä. Luiskasuojauksen rakentaminen vaatii tiettyntyyppistä topografiaa ja suojausta ei voida rakentaa esimerkiksi jyrkkään rinteeseen (jyrkkyys >1:2) tai yli 2 metriä korkeaan luiskaan ilman erityisrakenteita. (Tiehallinto 2004.) Luiskasuojauksille vaihtoehtoisia rakenteita ovat betonikaiteet, jotka estävät hulevesien pääsyn ympäristöön tien reunalta.

11.3.3. Vaihtoehtoiset liukkaudentorjunta-aineet

Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden käyttö on yleistynyt viime vuosina, mutta niiden kokonaiskäyttömäärät perinteisten liukkaudentorjunta-aineiden määriin nähden ovat edelleen melko vähäisiä. Vaihtoehtoisia liukkaudentorjunta-aineita on tutkittu esimerkiksi MIDAS-projektissa vuosina 1997–2013. Vähiten pohjavesiä kuormittavaksi liukkaudentorjunta-aineeksi todettiin kaliumformiaatti, koska se hajoaa maaperässä nopeasti hiilidioksidiksi ja vedeksi. (Hellstén et al. 2002, Hellstén et al. 2004.) Kaliumformiaattia ei suositella käytettäväksi alueilla, joissa on toimiva bentoniitista rakennettu luiskasuojaus, sillä kaliumformiaatti voi teoreettisesti tarkastellen heikentää bentoniitin paisumiskykyä. Asiaa ei kuitenkaan ole selvitetty kokeellisesti, joten lisätutkimus olisi tarpeellista. Jos pohjavesisuojaus on todettu toimimattomaksi, kaliumformiaattia voidaan käyttää. MIDAS-tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää harkitessa vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden käyttöä, ja tuloksia voidaan myös soveltaa orgaanisten vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden tuotekehittelyssä. (SYKE 2013.)

12. KIITOKSET

Lämpimät kiitokset ohjaajilleni FT Taina Nysténille (SYKE) ja professori Veli-Pekka Saloselle (Helsingin yliopisto) saamastani avusta. Kiitokset Liikennevirastolle ja SYKELLE työn mahdollistamisesta. Ohjausryhmään kuuluneille Laura Pennaselle ja Pekka Rajalalle (Liikennevirasto), Timo Kinnuselle, Kaisa Lehdolle ja Arto Kärkkäiselle (Uudenmaan ELY-keskus), Petri Siirrolle ja Tuomo Korhoselle (Hämeen ELY-keskus), Heidi Rautaselle, Sanna Tiaskorvelle ja Jussi Kailastolle (Kaakkois-Suomen ELY-keskus) suuret kiitokset saamistani materiaaleista ja palautteesta. Kiitos

avusta myös Jani Salmiselle (SYKE) ja Tuula Säämäselä (Liikennevirasto). Kiitos poikaystävälleni Villelle ja perheelleni tuesta ja kannustuksesta.

13. VIITELUETTELO

- Ahonen, I., Valli, T., Lehtimäki, J., Koho, S. 1999. Kallio- ja pohjavesiolosuhteiden selvitys Lempolan ja Nummenkylän välisellä pohjavesialueella. Geologian tutkimuskeskus, 34 s.
- Angervuori, T., Kokko, T., Vallila, E., Pokki, E. 2004. Suolauksen vähentämiskokeilun seuranta. Talvikaudet 1999–2003. Loppuraportti. Tiehallinnon selvityksiä 43, 124 s.
- Backman, B., Luoma, S., Klein, J. 2012. Pohjavesiolosuhteet ja vedenhankinta tulevaisuudessa Hangon Santalanrannan vedenottamon alueella. Geologian tutkimuskeskus, 25 s.
- Britschgi, R., Antikainen, M., Ekholm-Peltonen, M., Hyvärinen, V., Nylander, E., Siirto, P., Suomela, T. 2009. Pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus. Suomen ympäristökeskus, 75 s.
- Coster, A. de, Grandlund, K., Soveri, J. 1993. Tiesuolan pohjavesivaikutusten mallintaminen Joutsenonkankaalla. Tielaitoksen selvityksiä 33, 51 s.
- Fyfe, G. 1990. The effect of water depth on ice-proximal glaciolacustrine sedimentation: Salpausselkä I, southern Finland. *Boreas* 19, 147-164.
- Environment Canada. 2012. Five-year review of progress: code of practice for the environmental management of road salts, 84 s.
http://www.ec.gc.ca/sels-salts/default.asp?lang=En&n=45D464B1-1#sec6_2
- Gustafsson, J. 2000. Tiesuolauksen riskikartoitus pohjavesialueilla - valtakunnallinen yhteenveto. Suomen ympäristö 361. Suomen ympäristökeskus, 104 s.
- Gustafsson, J. 2003. Teiden liukkaudentorjunnan pohjavesivaikutusten erityisseurantakohteet. Suomen ympäristökeskuksen moniste 289, 94 s.
- Hellstén, P., Nystén, T., Kokkonen, P., Valve, M., Laaksonen, T., Määttä, T., Miettinen, I. 2002. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen. Suomen ympäristö 552. Suomen ympäristökeskus, 62 s.
- Hellstén, P., Nystén, T., Salminen, J., Granlund, K., Huotari, T., Vallinkoski, V-M. 2004. Kaliumformiaatin hajoaminen maaperässä ja pohjavedessä – MIDAS-loppuraportti. Suomen ympäristö 675. Suomen ympäristökeskus, 53 s.
- Hänninen, T., Kivimäki, A., Liponkoski, M., Niemi, A. 1994. Tiesuolauksen vaikutus tärkeillä pohjavesialueilla. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 70. Tielaitos, 39 s.
- Hänninen, T. 1995. Tielaitoksen luiskasuojaukset. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 52, 45 s.
- Kling, T., Niemi, A., Pirhonen, V. 1993. Tiesuolan pohjavesivaikutukset - kulkeutumismekanismien moni-ilmiömallinnus. Tielaitoksen selvityksiä 65, 74 s.
- Kaakkois-Suomen Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2014. Utti – pohjavesialueen suojelusuunnitelma, 49 s.
- Lahermo, P., Väänänen, P., Tarvainen, T., Salminen, R. 1996. Suomen geokemian atlas, osa 3. Ympäristögeokemia – purovedet ja sedimentit. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 149 s.
- Laininen, P. 2007. Tilastollisen analyysin perusteet. Otatieto, Helsinki, 281 s.
- Liikennevirasto. 2014a. Internet-sivut 21.9.2014.
http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/kunnossapito/talviolosuhteet/teiden_talvihoitoluokat#.VB7YEueZ_eg
- Liikennevirasto. 2014b. Tietilasto 2013. Liikenneviraston tilastoja 4. Liikennevirasto, Helsinki, 49 s.
- Liikennevirasto. 2014c. Luiskasuojauksen vaikutuksista pohjaveden kloridipitoisuuteen eräissä kohteissa. Julkaisemattoman raportin luonnos 3.6.2014. Liikennevirasto, 102 s.
- Lunkka, J. 2008. Maapallon ilmastohistoria – kasviuoneista jääkausiin. Gaudeamus, Helsinki, 286 s.
- Luoma, S. 2012. Steady-state groundwater flow model of shallow aquifer in Hanko, south Finland. Geologian tutkimuskeskus, 22 s.
- Meriano, M., Eyles, N., Howard, K. 2009. Hydrogeological impacts of road salt from Canada's busiest highway on a Lake Ontario watershed (Frenchman's Bay) and lagoon, City of Pickering. *Journal of Contaminant Hydrology* 107, 66–81.
- Mäkinen, K., Palmu, J-P., Teeriaho, J., Rönty, H., Rauhaniemi, T., Jarva J. 2007. Valtakunnallisesti arvokkaat moreenimuodostumat. Suomen ympäristö 14. Suomen ympäristökeskus, 120 s.

- Mäkinen, R. 2014. Lähteet reagoivat herkästi ympäristömuutoksiin. *Vesitalous* 4, 30–31.
- Mälkki, E. 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Tammi, Helsinki, 304 s.
- Niemi, A., Kling, T., Vaittinen, T., Vahanne, P., Kivimäki, A., Hatva, T. 1994. Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa. Tielaitoksen selvityksiä 66, 125 s.
- Nystén, T., Hänninen, T. 1997. Tiesuolan pohjavesihaittojen vaikutuksista ja torjuntakeinoista. Suomen ympäristö 57. Suomen ympäristökeskus, 55 s.
- Nystén, T., Granlund, K., Kivimäki, A.-L., Tuominen, S. 1995. Tiesuolan pohjavesivaikutusten mallintamistutkimukset Miekkamäen alueella. Tielaitoksen selvityksiä 29, 108 s.
- Nystén, T., Gustafsson, J., Oinonen, T. 1999. Pohjaveden kloridipitoisuudet ensimmäisen Salpausselän alueella. Suomen ympäristö 331. Suomen ympäristökeskus, 76 s.
- Ojala, L., Mellqvist, E. 2004. Vägsalt – användning och påverkan på grundvattnet. SGU-rapport 13. Sveriges geologiska undersökning, 23 s.
- Rainio, H. 1985. Första Salpausselkä utgör randzonen för en landis som avancerat på nytt. Geologian tutkimuskeskus, 22 s.
- Rainio, H. 1991. The Younger Dryas ice-marginal formations of southern Finland. Teoksessa Rainio, H., Saarnisto, M. Eastern Fennoscandian Younger Dryas end moraines. Geologian tutkimuskeskuksen opas 32, 25-41.
- Ramboll Finland Oy. 2011. Vt 1 Lohja-Lohjanharju. Pohjaveden laadun lisäselvitykset. Ramboll Finland Oy, 31 s.
- Saarnisto, M., Saarinen, T. 2001. Deglaciation chronology of the Scandinavian ice sheet from the Lake Onega basin to the Salpausselkä end moraines. *Global and Planetary Change* 31, 387–405.
- Saarnisto, M., Rainio, H., Kutvonen, H. 1994. Salpausselkä ja jääkaudet. Geologian tutkimuskeskus opas 36, 50 s.
- Salminen J., Nystén T., Tuominen S. 2010. Vaihtoehtoiset liukkaudentorjunta-aineet ja pohjavesien suojele – MIDAS2-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristö 22. Suomen ympäristökeskus, 46 s.
- Soveri, J., de Coster, A., Vesterinen, J. 1991. Tiesuolan vaikutus pohjaveteen Salpausselän alueella. Tielaitoksen selvityksiä 21, 44 s.
- SYKE. 2013. Internet-sivut 30.11.2014.
<http://www.syke.fi/fi-fi/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet_Hankkeet/Vaihtoehtoisten_liukkaudentorjuntaaineiden_kulkeutuminen_pohjavedessä_MIDAS>
- SYKE. 2013. POVET-tietojärjestelmän Tieriskirekisteriosien (TSRR) ohje. Suomen ympäristökeskus, 21 s.
- Tidenberg, S., Kosonen, E., Gustafsson, J. 2007. Teiden talvikunnossapidon vaikutukset pohjaveteen. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 10, 131 s.
- Tiehallinto. 2004. Pohjaveden suojaus tien kohdalla. Tiehallinto, 32 s.
- Tschudi, S., Ivy-Ochs, S., Schluchter, C., Kubik, P., Rainio, H. 2000. ¹⁰Be dating of Younger Dryas Salpausselkä I formation in Finland. *Boreas* 29, 287–293.
- Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. 2000. Soveltamisopas talousvesiasetukseen 461/2000. Vesi- ja ympäristölaitosyhdistys, Helsinki, 37 s.
- Vägverket. 2006. Pocket facts 2006. Publication 2006:23E. Swedish Road Administration, Roads and Trafic, 7-8.

LIITTEET

Liitteiden selitteet

Pohjavesialueluokka POVET-rekisterin mukaan

- | | |
|----|-------------------------------------|
| I | Tärkeä pohjavesialue |
| II | Vedenottoon soveltuva pohjavesialue |

Teoreettinen geologinen tyyppimuodostuma Hännisen et al. (1994) mukaan

- | | |
|-----|--|
| I | Matalaan veteen kerrostunut antiklininen pitkittäisharju |
| IIA | Syvään veteen kerrostunut antiklininen pitkittäisharju |
| IIB | Syvään veteen kerrostunut synklininen pitkittäisharju |
| IV | Salpausselkätyyppinen pitkittäisharju |

Havaintopisteen tyyppi POVET-rekisterin mukaan

- | | |
|----|-------------------|
| Vo | Vedenottamon hana |
| K | Kaivo |
| Hp | Pohjavesiputki |
| Lä | Lähde |

Cl-pitoisuuteen mahdollisesti vaikuttava muu toiminta kuin tiesuolaus POVET-rekisterin mukaan

- | | |
|------|---|
| A | Asutus |
| T | Teollisuus |
| K | Kaatopaikka |
| S | Suola- ja suolahiekkavarasto (nykyinen tai poistettu) |
| L | Lumenkaatopaikka |
| Ma | Maa-aineksen ottoalue |
| MaK | Maa-aineksen kaatopaikka |
| Me | Meriveden vaikutus |
| PIMA | Pilaantuneet maa-alueet |
| Mu | Muu syy |
| ET | Alueella ei ole tiedossa muita todennäköisiä kloridilähteitä kuin tie |

Cl-trendi Cl-pitoisuusluokat (0-9,9; 10-24,9; 25-49,9; 50-99,9; 100-299,9; ≥ 300 mg/l)

- | | |
|---|---|
| ↑ | Voimakkaasti nouseva trendi (nousu korkeampaan Cl-pitoisuusluokkaan) |
| ↗ | Nouseva trendi (nousu samassa Cl-pitoisuusluokassa) |
| → | Ei havaittavissa nousua tai laskua |
| ↘ | Laskeva trendi (lasku samassa Cl-pitoisuusluokassa) |
| ↓ | Voimakkaasti laskeva trendi (lasku alhaisempaan Cl-pitoisuusluokkaan) |

Tien talvihoitoluokka TSRR:n mukaan

- | | |
|--------------|---|
| Is (1-ajor.) | Tie on sään muutostilanteita lukuun ottamatta paljas |
| Is (2-ajor.) | Tie on sään muutostilanteita lukuun ottamatta paljas |
| I | Tie on pääosan ajasta paljas |
| Ib/Tib | Tie on korkeatasoisesti, mutta pääosin ilman suolaa hoidettava tie, osittain polannepintainen |
| II | Tien pinta on pääosin polannepintainen |

LIITE 1. POHJAVESIALUEIDEN TIEDOT

Pääsijainti- kunta	Pohjavesialueen nimi	Pohjavesi- alueen tunnus	Pohjavesi- alueluok- ka	Geologinen tyyppi- muodostuma	Kokonais- pinta-ala (km ²)	Muodostumis- alueen pinta- ala (km ²)	Imeyty- misker- roin	Arvio muodostuvan pohjaveden määrästä (m ³ vrk ⁻¹)	Arvio keskimääräisestä vedenottolaitoste- n ja teollisuuden vedenottomääräs- tä (m ³ vrk ⁻¹)	Tien sijainti pohjavesi- alueella	Alueen kemiallinen tila (EU)	Pääasiallinen kemiallista tilaa heikentävä aine
Hanko	Hanko	0107801	I	IV	14,09	11,62	0,3	5000	800	Pitkittäinen	Huono	Öljy, liuottimet
Hanko	Isolähde	0107803	I	IV	7,5	6,95	0,4	4000	2300	Pitkittäinen	Hyvä	
Hanko	Sandö-Grönvik	0107802	I	IV	17,44	13,88	0,4	7000	3800	Pitkittäinen	Huono	Mm. kloridi
Hausjärvi	Hausjärvi	0408602	I	I	10,66	6,63	0,6	6600	3440	Poikittainen	Hyvä	
Hausjärvi	Somervuori	0408651	I	I	2,21	1,11	0,6	1100	230	Pitkittäinen	Hyvä	
Hollola	Kukonkoivu-Hatsina	0409851	I	IV	61,09	48,84	0,55	45000	9300	Poikittainen	Hyvä	
Hollola	Salpakangas	0409852	I	IV	11,5	8,37	0,4	6500	5	Sivuava	Hyvä	
Hyvinkää	Hyvinkää	0110651	I	IV	29,06	19,23	0,45	11000	4000	Poikittainen	Huono	Mm. kloridi
Hyvinkää	Noppo	0110653	I	IIA	6,07	2,61		4000		Pitkittäinen	Huono	Liuottimet
Hämeenkoski	Ilola-Kukkolanharju	0428351	I	I	8,03	5,1		7000	300	Sivuava	Hyvä	
liitti	Tillola	0514202	I	IV	6,2	4,11	0,4	2500	190	Pitkittäinen	Hyvä	
Imatra	Vesioronkangas	0515351	I	IV	14,46	8,86	0,6	9000	4500	Poikittainen	Hyvä	
Kouvola	Kaipainen	0575401	I	IV	4,59	3,39	0,4	2200	440	Pitkittäinen	Huono	Mm. kloridi
Kouvola	Tornionmäki	0528601	I	IV	6	4,62	0,4	3000	2300	Pitkittäinen	Huono	Mm. kloridi
Kouvola	Utti	0590906	I	IV	22,7	15,43		12600	29000	Pitkittäinen	Hyvä	
Kärkölä	Järvelä 1	0431601 B	I	IIA	1,94	0,94	0,6	1300	240	Sivuava	Hyvä	
Lahti	Kunnas	0439851	I	IIB	6,29	3,64	0,45	1200	850	Poikittainen	Hyvä	
Lahti	Lahti	0439801	I	IV	40,36	19,95	0,5	30000	11200	Pitkittäinen	Huono	Mm. kloridi
Lahti	Renkomäki	0439802	I	I	6,19	3,45		2500	1430	Sivuava	Hyvä	
Lappeenranta	Joutsenonkangas A	0517351 A	I	IV	33,49	28,11	0,4	20000	2700	Pitkittäinen	Huono	Mm. kloridi
Lappeenranta	Tiurunieniemi	0517301	I	IV	14,72	10,9	0,5	8500	500	Poikittainen	Hyvä	
Lappeenranta	Ukonhauta	0517302	I	IV	16,54	12,74	0,5	9000	3460	Pitkittäinen	Hyvä	
Lohja	Lohjanharju A	0142851 A	I	IV	8,65	4,74		3500	1300	Pitkittäinen	Hyvä	
Lohja	Lohjanharju B	0142851 B	I	IV	23,02	9,05		7500	3500	Pitkittäinen	Hyvä	
Luumäki	Kaunisranta	0544103	I	IV	0,54	0,38	0,4	250	135	Pitkittäinen	Hyvä	
Luumäki	Taavetti	0544101	I	IV	6,11	4,78	0,5	3900	240	Pitkittäinen	Hyvä	

Nastola	Villähde	0453251	I	IV	3,25	1,42	0,4	900	230	Pitkittäinen	Hyvä	
Nastola	Nastonharju-Uusikylä A	0453252 A	I	IV	8,4	6,2		4000	1450	Pitkittäinen	Hyvä	
Nastola	Nastonharju-Uusikylä B	0453252 B	I	IV	11,87	5,95		3800	550	Pitkittäinen	Huono	Mm. kloridi
Nurmijärvi	Kiljava	0154352	I	IV	17,01	14,55	0,3	7000	1200	Pitkittäinen	Hyvä	
Nurmijärvi	Lepsämä	0154302	I	IIB	3,79	1,05		1200		Sivuava	Hyvä	
Nurmijärvi	Nukari	0154306	I	IIB	1,94	1		1600		Pitkittäinen	Hyvä	
Nurmijärvi	Nummenpää	0154307	I	IV	11,77	1,41		1500		Poikittainen	Hyvä	
Nurmijärvi	Teilinummi	0154305	I	IIB	0,9	0,58		1000	550	Pitkittäinen	Hyvä	
Nurmijärvi	Valkoja	0154301	I	IV	9,35	2,05		3600	2200	Pitkittäinen	Hyvä	
Parikkala	Likolampi	0558001 A	I	I	2,71	1,49	0,4	1200	0	Poikittainen	Hyvä	
Raasepori	Björknäs	0183551	I	IV	5,31	3,84	0,4	3500	809	Pitkittäinen	Hyvä	
Raasepori	Ekerö	0160651	I	IV	10,31	7,37	0,35	4100	1600	Pitkittäinen	Hyvä	
Raasepori	Karjaa B	0122001 B	I	IV	3,66	1,94	0,4	1200	570	Pitkittäinen	Hyvä	
Raasepori	Karjaa C	0122001 C	I	IV	1,91	0,81	0,4	800		Pitkittäinen	Hyvä	
Raasepori	Meltola-Mustio A	0122051 A	I	IV	4,53	2,48	0,3	1100	616	Pitkittäinen	Hyvä	
Raasepori	Meltola-Mustio C	0122051 C	I	IV	4,78	2,34	0,4	800	99	Pitkittäinen	Hyvä	
Rautjärvi	Änkilä	0568903	II	IV	3,15	2,09	0,4	1400	0	Pitkittäinen	Hyvä	
Riihimäki	Herajoki	0469451	I	I	10,21	2,6	0,45	12000	3065	Poikittainen	Hyvä	
Ruokolahti	Oritlampi	0570002 A	I	IV	0,68	0,55	0,4	350	24	Poikittainen	Hyvä	
Vihti	Isolähde	0192704	I	IV	7,84	3,5	0,4	2500	1200	Pitkittäinen	Hyvä	
Vihti	Nummelanharju	0192755	I	IV	12,98	3,67		6500	2600	Pitkittäinen	Huono	Mm. kloridi

LIITE 2. HAVAINTOPISTEIDEN TIEDOT

Kunta	Pohjavesialue	Havaintopiste	Havainto- pisteen tyyppi	Muut mahdolliset CI-lähteet tiesuolan lisäksi	CI-trendi koko seuranta- jaksolla	Seurantajakso	Kloridipitoisuus (mg l ⁻¹)			
							n	min	maks	ka
Hanko	0107801	Hanko								
		Ampumarata	K	A, T, PIMA, Mu	↓	1.1.1984-10.12.2008	16	10,3	36	16,98
		Furunäs (ei käytössä)	K	A, T, K, Me	↑	1.1.1973-23.2.2010	8	8	130	30,16
		Hopearanta	K	A, T, Me	→	1.1.1967-3.6.2013	55	10	560	57,74
	0107802	Mannerheimintie	K	A, T, Me	↓	1.1.1967-11.7.2012	52	9	150	20,3
		Sandö-Grönvik								
	0107803	Santalanranta	K	T, K, Ma, Me	↓	31.12.1970-2.9.2013	96	6	280	26,74
		Isolähde								
		Isolähde	K	K, Ma, Me	→	20.1.1988-3.6.2013	99	2	19	9,659
		Isolähde (tiepiirin hp T5)	Hp	K, Ma, Me	↑	10.8.1992-18.2.2014	56	3,4	22	14,5
Hausjärvi	0408602	Koverhar	K	K, Ma, Me	↘	1.1.1972-26.3.2007	8	25	70	33,41
		Hausjärvi								
		Piirivuori (kaivo 2)	K	A, T, K, Ma	↓	1.3.1977-15.3.2005	36	6	26	10,78
		Piirivuori (kaivo 3)	K	A, T, K, Ma	↓	1.3.1977-15.3.2005	31	6	17	9,935
	0408651	HP 3/94	Hp		↗	11.5.2005-10.8.2012	13	13	26	19,5
		Somervuori								
		Ryttylä	Vo	Ma	↓	1.1.1977-8.8.2012	42	1	46	5,381
Hollola	0409851	Kukonkoivu-Hatsina								
		Ruopan vo	Vo	A, T, PIMA	↗	1.1.1971-6.11.2002	4	0	3	1,175
		Sairakkalan vo	K	A, T, PIMA	↘	17.8.2006-19.11.2013	12	6,5	8	7,4
	0409852	Salpakangas								
		Salpa-Mattila	Vo	A, T, MaK, PIMA	↑	1.1.1982-5.11.2003	5	7	12	10,6
		Tiilijärvi	Vo	A, T, MaK, PIMA	↘	1.1.1967-5.11.2003	7	0	3	1,557

Hyvinkää	0110651	Tielaitos HP5	Hp	A, T, MaK, PIMA	↓	1.2.2000-9.8.2012	24	15	33	24,4
		3 / 1 Tielaitos HP3	Hp	A, T, MaK, PIMA	↑	1.2.2000-9.8.2012	21	9,7	28	15
		Hyvinkää								
		Hyvinkäänkylän vo, K306	K	A, T, Ma, PIMA	↗	17.4.2001-13.11.2012	50	11	15	14,14
		Sveitsin vo, K2	K	A, T, Ma, PIMA	↘	21.4.1999-23.8.2012	41	4,5	24	17,82
		Erkylän vo, K14	K	A, T, Ma, PIMA	↗	22.2.2005-27.8.2008	15	13	19	14,8
		Erkylän vo, K34	K	A, T, Ma, PIMA	↘	22.2.2005-24.11.2008	16	1,5	4,1	3,131
		Erkylän vo, K117	K	A, T, Ma, PIMA	↘	22.2.2005-24.11.2008	16	6	7	6,638
Hämeenkoski	0428351	Erkylän vo, K154	K	A, T, Ma, PIMA	↘	22.2.2005-24.11.2008	16	6,4	8	7,263
		Noppo								
		Noppo	K	A, T, PIMA	↗	16.9.2003-8.1.2013	15	33	57	43,72
litti	0514202	Ilola-Kukkolanharju								
		Sipilänharju, HP72	Hp	A, T, S, Ma	→	5.5.2004-15.8.2013	10	67	81	74,9
		Tillola								
Imatra	0515351	Myllytöyryn vo	K	A, T, K, S, L, Ma	↓	1.1.1977-1.6.2004	42	14	145	23,46
		Tillola, P07	Hp	A, T, K, S, L, Ma	↓	7.2.1992-20.5.2013	31	0,5	57	7,6
		Tillola, P09	Hp	A, T, K, S, L, Ma	↓	7.2.1992-20.5.2013	27	0,5	200	53,7
		Vesioronkangas								
		Vesioronkangas VT6-1	Hp		↓	5.5.2003-28.5.2013	22	3,7	66	7,8
		Vesioronkangas VT6-2/P2	Hp	A, T, K, Ma	↓	5.5.2003-28.5.2013	23	7,5	83	53,6
Kouvola	0575401	Hiekkoinlahden vo, hana 1	Vo	A, T, K, Ma	↗	1.1.1995-24.10.2011	45	4	10	7,5
		Kaipiainen								
		Kaipiainen vanha vo	Vo	A, T, K, S, Ma	↓	18.2.1981-1.6.2006	84	1	46	30,45
		Kaipiainen KAI1	Hp	A, T, K, S, Ma	↗	28.3.2000-21.5.2012	17	4,5	14	7,759
		Kaipiainen KAI2	Hp	A, T, K, S, Ma	↘	28.3.2000-22.5.2013	18	1,6	39	5,356
		Kaipiainen KAI3	Hp	A, T, K, S, Ma	↓	1.8.2000-21.5.2013	17	25	330	116,1
		Kaipiainen KAI4	Hp	A, T, K, S, Ma	↓	1.8.2000-22.5.2013	17	15	180	103,9
		Kaipiainen KAI5	Hp	A, T, K, S, Ma	↘	5.6.2000-21.5.2013	16	1,7	15	3,113

0528601	Kaipiainen KAI7	Hp	A, T, K, S, Ma	↘	16.8.2001-21.5.2013	15	2,3	4,1	2,98
	Kaipiainen KAI8	Hp	A, T, K, S, Ma	↓	16.8.2001-21.5.2013	15	3,3	160	64,81
	Kaipiainen KAI9	Hp	A, T, K, S, Ma	↗	29.5.2008-22.5.2013	6	4,2	6,9	5,75
	Raision lateksi Oy (hp 19)	Hp	A, T, K, S, Ma	↘	20.9.1989-10.3.2009	7	1,8	6,2	3,857
0528601	Tornionmäki								
	0528601 P01	Hp	A, T, Ma, PIMA	↗	22.8.1995-14.5.2012	29	4,6	97	36,8
	0528601 P02	Hp	A, T, Ma, PIMA	↗	22.8.1995-14.5.2012	29	4	130	35
	0528601 P03	Hp	A, T, Ma, PIMA	↓	22.8.1995-14.5.2012	29	2	68	23,2
	0528601 P04	Hp	A, T, Ma, PIMA	↑	31.10.1995-14.5.2012	28	23	120	52,4
	0528601 P05	Hp	A, T, Ma, PIMA	↑	4.6.1997-14.5.2012	21	1,6	27	4,2
	0528601 P06	Hp	A, T, Ma, PIMA	↑	4.6.1997-14.5.2012	23	4	95	55,1
	0528601 P07	Hp	A, T, Ma, PIMA	↘	4.6.1997-14.5.2012	23	1,1	2,2	1,6
	0528601 P08	Hp	A, T, Ma, PIMA	↑	4.6.1997-14.5.2012	22	3,9	100	36,6
	0528601 P09	Hp	A, T, Ma, PIMA	↘	4.6.1997-14.5.2012	24	2,1	7,1	3,4
	0528601 P10	Hp	A, T, Ma, PIMA	↑	4.6.1997-14.5.2012	24	58	180	106,9
	0528601 P11	Hp	A, T, Ma, PIMA	↗	4.6.1997-14.5.2012	24	1,7	3,8	2,4
0590906	Utti								
	Valkealan pohjavesiasema, 0402	Lä	A, T, PIMA	↑	13.1.1975-5.9.2013	286	2	25	14,32
	0590906 P02	Hp	A, T, PIMA	↑	28.11.1995-21.5.2013	30	6,3	66	27,8
	0590906 P04	Hp	A, T, PIMA	↗	28.11.1995-21.5.2013	30	1,9	3,5	2,5
	0590906 P07	Hp	A, T, PIMA	→	28.11.1995-21.5.2013	30	1,5	2,5	2
	0590906 P09	Hp	A, T, PIMA	↗	28.11.1995-13.6.2014	31	1,6	11	3,9
	0590906 P11	Hp	A, T, PIMA	↗	28.11.1995-21.5.2013	30	1,2	590	84,3
	0590906 P13	Hp	A, T, PIMA	↘	28.11.1995-21.5.2013	30	0,5	3,2	1,1
	0590906 P15	Hp	A, T, PIMA	↑	1.1.1995-21.5.2013	29	27	500	219,8
	0590906 P16	Hp	A, T, PIMA	↗	1.1.1995-21.5.2013	29	1,2	4,4	2,6
	0590906 P17	Hp	A, T, PIMA	↗	1.1.1995-21.5.2013	30	31	250	112,9

Kärkölä	0431601 B	0590906 P18	Hp	A, T, PIMA	↘	1.1.1995-22.5.2013	25	0,5	146	6,9
		0590906 P19	Hp	A, T, PIMA	↗	29.11.1995-21.5.2013	30	62	280	147,3
		0590906 P22	Hp	A, T, PIMA	↗	22.10.1997-21.5.2013	20	0,41	2,8	1,2
		0590906 P23	Hp	A, T, PIMA	↘	28.11.1995-21.5.2013	25	2,6	7,3	4
		0590906 P24	Hp	A, T, PIMA	↗	9.10.1997-21.5.2013	24	1,9	5,8	3,8
		0590906 P25	Hp	A, T, PIMA	↗	9.10.1997-21.5.2013	25	1,1	3,5	2,2
Lahti	0431601 B	Järvelä 1								
		Järvelä A, HP11	Hp	A, Ma, K	↘	30.05.1990-18.5.2006	17	12	22	16,24
	0439801	Lahti								
		Jalkaranta 111	Vo	A, T, PIMA	↗	1.1.1967-4.5.2009	60	6	44	11
		Jalkaranta (110 K)	K	A, T, PIMA	↘	12.2.1990-21.8.2007	41	10	20	14,05
		Jalkarannan vanhatie 113	Hp		↗	24.10.2000-4.5.2009	11	7,7	8,9	8,3
		Jalkaranta (114 K)	K	A, T, PIMA	↘	12.2.1990-8.4.2008	47	7,9	12	8,8
		Jalkaranta (119 K)	K	A, T, PIMA	→	12.2.1990-4.5.2009	47	5	24	8,1
		Kärpänen (161 K)	K	A, T, PIMA	↗	12.2.1990-17.4.2008	36	12	37	17,4
		Laune (132 K)	K	A, T, PIMA	↑	29.5.1990-6.5.2009	40	12	28	22,6
		Laune (133 K)	K	A, T, PIMA	↗	15.2.1990-24.1.2001	17	19	25	22,06
		Riihelä (151 K)	K	A, T, PIMA	↗	12.2.1990-17.4.2008	47	10	20	14,1
		Riihelä (152 K)	K	A, T, PIMA	↗	12.8.1997-17.4.2008	16	13	33	18,4
		Valtatie 12 alikulku	Hp		↑	12.5.1993-12.5.2009	15	20	41	29,4
		Riihelä (159 Hp)	Hp	A, T, PIMA	↓	19.5.1995-3.8.2011	22	2,5	58	26,2
		Urheilukeskus (121 K)	K	A, T, PIMA	→	15.2.1990-12.5.2009	43	13	18	14,5
		Urheilukeskus (122 K)	K	A, T, PIMA	↗	15.2.1990-19.4.2005	44	14	26	15,8
	0439802	Renkomäki								
		Renkomäki (143 K)	K	A, T, Ma	↑	22.2.1988-7.5.2009	47	5	12	7,7
		Renkomäki (144 K)	K	A, T, Ma	↑	19.2.1990-23.1.2007	36	5	18	12,1
		Renkomäki (145 Hp)	Hp	A, T, Ma	↓	22.10.1991-7.5.2009	32	5,9	130	51,5

Lappeenranta	0439851	Renkomäki (146 Hp)	Hp	A, T, Ma	↓	1.7.1992-7.5.2009	31	4,1	38	21,5
		Kunnas								
		Kunnas (171 K)	K	A	↘	12.2.1990-11.5.2009	45	9,6	18	13,7
		Kunnas (172 K)	K	A	↗	23.5.1991-11.5.2009	30	4	16	12,2
		Kunnas (174 Hp)	Hp	A	↓	14.10.1992-12.8.2013	29	7	18	13,4
		Kunnas (176 Hp)	Hp	A	↓	13.8.1997-11.5.2009	12	14	36	24
	0517301	Kunnas (414, Vt 4)	Hp	A	↓	15.11.2000-12.8.2013	30	5,7	73	21,2
		Tiuruniemi								
	0517302	Rauhan sairaala	K	A, T, Ma, K	↘	1.1.1967-1.1.2009	26	4,6	11	6,858
		Tiurun sairaala	K	A, T, Ma, K	↗	1.1.1967-1.1.2009	28	1,8	19	4,768
	0517351 A	Ukonhauta								
		Myllypuro vo	Vo	A, T, S, Ma	↘	10.2.2009-29.11.2011	11	5,4	9,2	7,109
		Ukonhauta P17/12	Hp	A, T, S, Ma	↓	2.9.2003-28.5.2013	11	65	370	227,7
	0517351 A	Ukonhauta P18	Hp	A, T, S, Ma	↓	2.9.2003-28.5.2013	10	2,9	38	11
		Joutsenonkangas A								
		Ahvenlampi	K	A, T, K, Ma	↗	8.12.1970-1.1.2006	34	5	28	12,08
		Peräsuonniitty	Vo	A, T, K, Ma	↗	27.11.1979-1.1.2009	42	0,86	6	2,432
		P12	Hp	A, T, K, Ma	↑	4.6.1991-28.5.2013	34	1,5	16	7,844
		P21 ja P21/12 UUSI	Hp	A, T, K, Ma	↗	3.6.2003-27.5.2013	8	2,6	4,6	3,4
		P22	Hp	A, T, K, Ma	→	3.6.2003-27.5.2013	12	1,5	4,4	2,8
		P23	Hp	A, T, K, Ma	↗	3.6.2003-27.5.2013	12	1,6	3	2,233
		P24	Hp	A, T, K, Ma	↗	3.6.2003-28.5.2013	12	1,6	6	2,792
		P25	Hp	A, T, K, Ma	↘	3.6.2003-28.5.2013	13	19	57	38,77
		P26	Hp	A, T, K, Ma	↗	25.8.2003-28.5.2013	12	3,6	6,6	4,642
		P27	Hp	A, T, K, Ma	↓	25.8.2003-28.5.2013	12	9,2	57	27,43
Lohja	0142851 A	Lohjanharju A								
	0142851 B	Myllylampi	K	A, T, K, MaK	↑	1.1.1961-23.10.2012	33	5	26	19,09
		Lohjanharju B								

Luumäki	0544101	Lehmijärvi	K	A, T, Ma, PIMA	↗	24.3.1992-23.10.2012	29	3,5	30	13,17
		Lempola	K	A, T, Ma, PIMA	→	8.2.1993-15.5.2012	25	13,5	22,2	17,79
		Takaharju	K	A, T, Ma, PIMA	↗	1.1.1967-15.5.2012	30	1,4	19	5,823
		Vt1, PS3	Hp	A, T, Ma, PIMA	↓	14.11.2003-22.5.2014	38	9	110	47
		Vt1, PS4	Hp	A, T, Ma, PIMA	↑	11.11.2003-19.5.2014	38	4,1	170	48,1
		Vt1, PS7	Hp	A, T, Ma, PIMA	↑	11.11.2003-13.8.2014	39	1,3	280	69,5
		Vt1, PS8	Hp	A, T, Ma, PIMA	↑	18.5.2004-13.8.2014	36	1,8	180	36,3
		Vt1, PS9	Hp	A, T, Ma, PIMA	↑	18.5.2004-19.2.2014	43	9,1	57	22,4
		Vt1, PS10B	Hp	A, T, Ma, PIMA	↑	25.1.2005-12.8.2014	25	1,8	120	29,5
		SK900	Hp	A, T, Ma, PIMA	↘	30.5.2001-30.11.2011	30	2,3	12	6,6
		Taavetti								
		Taavetin vo	Vo	A, T, S, PIMA	↑	1.1.1955-24.7.2012	67	2,1	68	30,34
		U1 (24)	Hp	A, T, S, PIMA	↗	24.5.2002-22.5.2013	13	31	45	38,4
		U2 (PVP 23)	Hp	A, T, S, PIMA	↓	24.5.2002-22.5.2013	13	19	250	54,5
		U3 (PVP20)	Hp	A, T, S, PIMA	↗	24.5.2002-22.5.2013	13	78	680	214,6
		U4 (PVP22)	Hp	A, T, S, PIMA	→	24.5.2002-27.5.2013	12	8,9	350	82,2
		U5 (PVP21)	Hp	A, T, S, PIMA	↓	24.5.2002-27.5.2013	13	1,4	40	8,8
		P01	Hp	A, T, S, PIMA	↑	11.9.1992-27.5.2013	31	1,2	29	23,7
		PVP3	Hp	A, T, S, PIMA	↘	11.9.1992-27.5.2013	31	25	130	64,3
		P05	Hp	A, T, S, PIMA	↓	11.9.1992-27.5.2013	31	10	340	166,7
		P20	Hp	A, T, S, PIMA	→	14.7.1997-27.5.2013	26	0,5	12	5
	0544103	Kaunisranta								
		Jurvalan vo	K	A	↗	24.11.1980-24.7.2012	31	0,4	51	34,45
		0544103 P01	Hp	A	↓	19.6.1996-27.5.2013	28	0,5	700	275,3
Nastola	0453251	0544103 P02	Hp	A	↗	19.6.1996-27.5.2013	28	2,2	4,2	3,2
		Villähde								
		Villähteen vo	Vo	A, T	↗	1.1.1967-7.8.2012	53	1	20	11,84

Nurmijärvi	0453252 A	Villähde, Vt 12	Hp		↑	12.5.2006-7.8.2012	17	210	470	291,4
		Nastonharju-Uusikylä A								
		Levonniemi	Vo	A, T, K	→	6.5.1980-24.5.2000	41	1	27	13,39
		Mälkönen	Vo	A, T, K	→	6.5.1980-24.5.2000	40	1	18	12,61
	0453252 B	Peltola	Vo	A, T, K	↗	6.5.1980-24.5.2000	26	1	20	12,69
		Nastonharju-Uusikylä B								
		Alimmainen	Vo	A, T, Ma, PIMA	↗	14.5.1991-24.5.2000	10	4	8	6,19
		Uusikylä	Vo	A, T, Ma, PIMA	↗	1.1.1970-24.5.2000	39	1	13	7,703
	0154301	Valkoja								
		Kaninlähde	K	A, T, K	↗	4.11.1993-10.11.2010	41	10	24	17,8
		Pellonperä	K	A, T, K	↘	25.4.1979-12.8.2013	46	18	41	27
		Savikko	K	A, T, K	↑	4.11.1993-2.5.2013	43	13	47	34,8
		Valkoja (tiepiirin hp 34)	Hp	A, T, K	↑	10.2.1993-11.12.2013	56	32	77	48
		Valkoja (tiepiirin hp T1)	Hp	A, T, Ma, K	↘	10.8.1992-10.6.2009	40	1	9	5,5
		Valkojan vo, kaivo 1	K	A, T, MaK, K	↑	20.9.1990-9.2.2010	74	37	69	50,1
		Valkojan vo, kaivo 2	K	A, T, MaK	↑	22.4.1976-9.2.2010	102	18	70	48,8
	0154302	Lepsämä								
		Lepsämän vo, kaivo 1	K	ET	→	3.11.1993-12.11.2013	54	2,5	58	7,7
		Lepsämän vo, kaivo 2	K	ET	→	3.11.1993-12.11.2013	56	1,6	8	5,9
		Lepsämän vo, kaivo 3	K	ET	↗	3.11.1993-12.11.2013	53	3,3	12	7,8
	0154305	Teilinummi								
		Kaivo 120	K	T	↓	28.9.1994-7.5.2001	6	1	99	51,98
		TEI-K1	K	T	↓	14.3.2000-7.1.2014	43	4,9	25	20
	0154306	Nukari								
		Nukari	K	ET	→	8.8.1983-2.5.2013	62	15	22	18,3
	0154307	Nummenpää								
		Nummenpää	K	ET	↗	3.11.1993-2.10.2013	5	4,8	6,7	5,5
	0154352	Kiljava								

Parikkala	0558001 A	Kiljava	K	A, Ma, PIMA	↘	8.8.1983-4.10.2012	18	1,3	8	3,233
		Kiljavan vo, KIL-K1	K	A, Ma, PIMA	→	4.11.1993-11.5.2009	35	1	3,3	2,483
		Kiljavan vo, KIL-K2	K	A, Ma, PIMA	→	4.11.1993-13.11.2013	45	1	2,5	2
		Röykkä	K	A, Ma, PIMA	→	3.11.1993-2.10.2013	4	3,2	4	3,5
		Likolampi A								
		Likolampi (varavo)	Vo	A, Ma, PIMA	↑	1.1.1967-1.1.2007	46	3	31	15,81
Raasepori	0122001 B	Likolampi PAR1	Hp	A, Ma, PIMA	↗	29.5.2001-28.5.2013	13	27	82	41,7
		Likolampi PAR2	Hp	A, Ma, PIMA	↓	29.5.2001-28.5.2013	13	150	380	213,3
		Karjaa B								
		Maasilta (Landsbro)	K	A, T, PIMA	↑	1.1.1967-11.9.2012	42	12	38,2	32,92
		Karjaa C								
		Nyby	K	A, Ma	↗	28.5.1990-27.11.2002	35	13	24	20,65
Rautjärvi	0568903	Meltola-Mustio A								
		Meltola (Mjölbolsta)	K	A, T, PIMA	↗	31.12.1969-27.11.2002	34	14	25	19,85
		Meltola-Mustio C								
		Mjölñarby	K	ET	↓	7.6.1993-27.11.2002	17	8	19	11,54
		Ekerö								
		Ekerö	K	T, Ma, PIMA	↘	4.7.2002-2.9.2013	39	6,5	18	12,68
Riihimäki	0469451	Björknäs								
		Björknäs	K	A, T, Ma, PIMA, Me	↓	31.12.1969-4.7.2002	31	11	65	28,25
		Änkilä								
		Änkilän sora-alue, HP2	Hp	T, Ma, PIMA	↘	23.6.1995-15.8.2008	14	2	63	9,571
		Herajoki								
		Herajoki (kaivo 1)	K	A, T, K	↗	1.10.1975-27.9.2006	15	8	25	11,07

Ruokolahti	0570002 A	Oritlampi								
		Oritlammen vo	K	ET	↘	1.1.1975-20.10.2010	22	1,8	11,5	3,691
Vihti	0192704	Isolähde								
		ISO-K1	K	A, Ma, PIMA, Mu	↗	16.6.2003-9.7.2013	12	25	32	28,67
		ISO-K2	K	A, Ma, PIMA, Mu	↓	16.6.2003-11.4.2012	11	13	28	20,6
	0192755	Nummelanharju								
		Niittylän vo	K	A, T, Ma, PIMA	↘	15.4.2002-9.7.2013	13	2,6	29	12,18
		Rataskorven vo	K	A, T, Ma, PIMA	↑	15.4.2002-20.9.2012	17	21	100	47,12
		Nummelanharju T3	Hp	A, T, Ma, PIMA	↗	24.9.1997-18.4.2011	40	6,3	34,8	20,63

LIITE 3. TIESTÖTIEDOT

TieNro	TieOsaNro	Tieluokka	Urakka-alue	Talvihoitoluokka	Tieosan pituus		Tiesuojausmenetelmä	Suojauksen rakennusvuosi
					pohjaveden muodostumisalueella (km)			
1	11	Valtatie	Espoo	Is (2-ajor.)	2,1		Bentoniittimatto ja muovi	2005
3	106	Valtatie	Hyvinkää	Is (2-ajor.)	2,2		Tiivistetty maakerros	1989
3	110	Valtatie	Hyvinkää	Is (2-ajor.)			Tiivistetty maakerros	1989
4	120	Valtatie	Lahti	Is (2-ajor.)	1,2		Bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto)	1999
4	203	Valtatie	Lahti	Is (2-ajor.)	1,1		Bentoniittimatto ja muovi	2005
6	202	Valtatie	Kouvola	Is (1-ajor.)	4,4		Bentoniittimatto ja muovi	2000
6	202	Valtatie	Kouvola	Is (1-ajor.)	1,1		Ei suojausta	
6	203	Valtatie	Kouvola	Is (1-ajor.)	6,6		Bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto)	1995/1996
6	203	Valtatie	Kouvola	Is (1-ajor.)	6,6		Ei suojausta	
6	204	Valtatie	Kouvola	Is (1-ajor.)	2,4		Bentoniittimatto ja muovi	2006
6	204	Valtatie	Kouvola	Is (1-ajor.)	1,5		Ei suojausta	
6	205	Valtatie	Kouvola	Is (1-ajor.)			Bentoniittimatto ja muovi	2006
6	208	Valtatie	Lappeenranta	Is (1-ajor.)	2,3		Bentoniittimatto ja muovi	1993/1994
6	209	Valtatie	Lappeenranta	Is (1-ajor.)	1,6		Bentoniittimatto ja muovi	1993/1994
6	210	Valtatie	Lappeenranta	Is (1-ajor.)	1		Tiivistetty maakerros	(1996)/1998/1999
6	304	Valtatie	Lappeenranta	Is (2-ajor.)	6,1		Bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto)	2003
6	305	Valtatie	Imatra	Is (2-ajor.)	2,9		Bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto)	2003
6	306	Valtatie	Imatra	Is (2-ajor.)	5		Bentoniittimatto ja muovi	2009
6	311	Valtatie	Imatra	Is (2-ajor.)	2,7		Bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto)	1996/1997
6	312	Valtatie	Imatra	I	0,5		Ei suojausta	
6	318	Valtatie	Imatra	I	1,8		Ei suojausta	

6	321	Valtatie	Imatra	I	1,1	Ei tiedossa	
6	322	Valtatie	Imatra	I		Ei suojausta	
12	219	Valtatie	Lahti	Is (1-ajor.)	0,6	Tiivistetty maakerros	1994/1995, 2007
12	221	Valtatie	Lahti	Is (2-ajor.)	2,3	Tiivistetty maakerros	1992
12	222	Valtatie	Lahti	Is (2-ajor.)	5,9	Bentoniittimatto ja muovi	2001, 2005
12	224	Valtatie	Lahti	Is (1-ajor.)	1,3	Ei suojausta	
12	227	Valtatie	Lahti	Is (1-ajor.)	4,1	Ei suojausta	
12	230	Valtatie	Kouvola	Is (1-ajor.)	2,7	Ei suojausta	
12	231	Valtatie	Kouvola	Is (1-ajor.)	2,9	Ei suojausta	
15	7	Valtatie	Kouvola	Is (2-ajor.)	1,2	Ei suojausta	
25	2	Valtatie	Raasepori	Is (1-ajor.)	2,2	Bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto)	2001
25	4	Valtatie	Raasepori	Is (1-ajor.)	5,5	Bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto)	2001
25	5	Valtatie	Raasepori	Is (1-ajor.)	3,4	Bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto)	2001
25	12	Valtatie	Raasepori	Is (1-ajor.)	2,5	Ohut muovi ja maatiiviste	1984
25	15	Valtatie	Raasepori	Is (1-ajor.)		Ei tiedossa	
25	16	Valtatie	Raasepori	Is (1-ajor.)	2,4	Ei tiedossa	
25	17	Valtatie	Raasepori	Is (1-ajor.)	1,2	Ei tiedossa	
25	21	Valtatie	Espoo	Is (2-ajor.)	0,9	Bentoniittimatto ja muovi	2005
25	23	Valtatie	Nummi	Is (1-ajor.)	6	Suojattu, mutta menetelmä ei tiedossa	1996
25	24	Valtatie	Nummi	Is (1-ajor.)	3,5	Bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto)	1996
25	28	Valtatie	Hyvinkää	Is (1-ajor.)	0,3	Ei tiedossa	
25	31	Valtatie	Hyvinkää	Is (1-ajor.)		Tiivistetty maakerros	1989
26	11	Valtatie	Lappeenranta	I	1,2	Bentoniittimatto ja muovi	1993/1994/2005
45	10	Kantatie	Hyvinkää	Is (1-ajor.)	0,1	Ei tiedossa	
54	12	Kantatie	Hämeenlinna	I	1,1	Ei suojausta	
54	16	Kantatie	Lahti	I	0,5	Ei suojausta	

130	8	Seututie	Hyvinkää	I		Ei suojausta	
143	1	Seututie	Hyvinkää	I	1,3	Ei tiedossa	
290	4	Seututie	Hämeenlinna	Ib/Tib	3	Ei suojausta	
290	8	Seututie	Hämeenlinna	II	0,5	Ei suojausta	
290	9	Seututie	Hämeenlinna	II	1,9	Ei suojausta	
312	2	Seututie	Lahti	I	0,7	Ei suojausta	
375	1	Seututie	Kouvola	I	0,5	Ei suojausta	
1074	1	Yhdystie	Raasepori	I	0,1	Ei tiedossa	
1090	4	Yhdystie	Nummi	Ib/Tib	1,3	Ei tiedossa	
1321	3	Yhdystie	Hyvinkää	Ib/Tib	0,4	Ei tiedossa	
1322	3	Yhdystie	Hyvinkää	II		Ei tiedossa	
2955	1	Yhdystie	Lahti	Ib/Tib	0,7	Ei suojausta	
3173	1	Yhdystie	Lahti	II		Tiivistetty maakerros	1996
3751	1	Yhdystie	Kouvola	II	0,6	Ei suojausta	
3951	1	Yhdystie	Imatra	II	1,6	Ei suojausta	
3964	1	Yhdystie	Imatra	II	3,1	Ei suojausta	
11007	1	Yhdystie	Raasepori	Ib/Tib	3,1	Ei tiedossa	
11007	4	Yhdystie	Raasepori	II	0,7	Ei tiedossa	
11055	1	Yhdystie	Raasepori	II		Ei tiedossa	
11076	1	Yhdystie	Raasepori	II	1	Ei tiedossa	
11169	1	Yhdystie	Nummi	II	2,4	Ei tiedossa	
11261	1	Yhdystie	Nummi	Ib/Tib	0,6	Ei tiedossa	
11261	1	Yhdystie	Nummi	Ib/Tib	2,3	Ei tiedossa	
11299	1	Yhdystie	Hyvinkää	Ib/Tib	6,1	Ei tiedossa	
11421	1	Yhdystie	Hyvinkää	II		Ei tiedossa	
11490	1	Yhdystie	Hyvinkää	Ib/Tib	0,1	Ei tiedossa	

11505	1	Yhdystie	Hyvinkää	Ib/Tib	0,6	Bentoniitti ja kuitukankaat (bentoniittimatto)	2000
13807	2	Yhdystie	Hyvinkää	II	0,8	Ei suojausta	
14070	1	Yhdystie	Lahti	Ib/Tib	1,2	Ei suojausta	
14091	1	Yhdystie	Lahti	Ib/Tib	1,4	Ei suojausta	
14832	1	Yhdystie	Lappeenranta	II	4,8	Ei suojausta	
14840	1	Yhdystie	Imatra	II	2,8	Ei suojausta	

LIITE 4. HAVAINTOPISTE-TIEPARIT

Kunta	Havaintopiste	TieNro	TieOsaNro	Havaintopisteen ja tien välinen etäisyys (m)	TSRR Riskiluku
Hanko	Ampumarata	25	2	747	
Hanko	Furunäs	25	2	150	42
Hanko	Hopearanta	25	2	622	
Hanko	Isolähde	25	5	160	37
Hanko	Isolähde 5T	25	5	97	42
Hanko	Santalanranta	25	4	880	
Hanko	Koverhar	11007	1	323	68
Hanko	Mannerheimintie	11007	4	667	34
Hausjärvi	HP 3/94	54	12	342	
Hausjärvi	Piirivuori (kaivo 2)	290	8	292	
Hausjärvi	Piirivuori (kaivo 3)	290	8	298	
Hausjärvi	Ryttylä	290	9	622	29
Hollola	3 / 1 Tielaitos HP3	12	221	32	
Hollola	Salpa-Mattilan vo	12	221	336	55
Hollola	Tielaitos HP5	12	221	110	
Hollola	Ruopan vo	2955	1	313	30
Hollola	Sairakkalan vo	3173	1	1003	29
Hollola	Tiilijärven vo	14070	1	2620	30
Hyvinkää	Noppo	25	31	384	
Hyvinkää	Sveitsin ottamokaivo	130	8	1516	70
Hyvinkää	Erkylän vo, K14	143	1	245	39
Hyvinkää	Erkylän vo, K117	290	4	782	
Hyvinkää	Erkylän vo, K154	290	4	766	

Hyvinkää	Hyvinkäänkylän vo, K306	11490	1	1061	34
Hyvinkää	Erkylän vo, 34	13807	2	525	
Hämeenkoski	Sipilänharju, HP72	12	219	79	
Iitti	Myllytöyryn vo	12	230	601	
Iitti	Tillola, P07	12	231	470	
Iitti	Tillola, P09	12	231	88	
Imatra	Hiekkoinlahden vo	6	311	1869	
Imatra	Vesioronkangas, VT6-1	6	311	53	
Imatra	Vesioronkangas, VT6-2	6	311	93	
Kouvola	Kaipiainen KAI1	6	204	23	
Kouvola	Kaipiainen KAI2	6	204	23	36
Kouvola	Kaipiainen KAI3	6	204	25	
Kouvola	Kaipiainen KAI4	6	204	24	
Kouvola	Kaipiainen KAI5	6	204	21	
Kouvola	Kaipiainen KAI7	6	204	52	
Kouvola	Kaipiainen KAI8	6	204	185	
Kouvola	Kaipiainen KAI9	6	205	27	
Kouvola	Kaipiaisten vanha vo	6	204	351	
Kouvola	0528601 P09	6	202	13	
Kouvola	0528601 P08	6	202	327	
Kouvola	0528601 P11	6	202	248	
Kouvola	0590906 P11	6	203	28	
Kouvola	0590906 P13	6	203	30	
Kouvola	0590906 P15	6	203	30	
Kouvola	0590906 P16	6	203	82	
Kouvola	0590906 P17	6	203	70	

Kouvola	0590906 P18	6	203	601
Kouvola	0590906 P02	6	202	45
Kouvola	0590906 P04	6	202	85
Kouvola	0590906 P07	6	202	34
Kouvola	0590906 P09	6	202	44
Kouvola	0590906 P22	6	202	712
Kouvola	0590906 P19	6	204	24
Kouvola	Valkealan L0402	6	204	818
Kouvola	0528601 P01	15	7	45
Kouvola	0528601 P02	15	7	42
Kouvola	0528601 P03	15	7	140
Kouvola	0528601 P04	15	7	16
Kouvola	0528601 P05	15	7	44
Kouvola	0528601 P06	15	7	48
Kouvola	0528601 P07	15	7	95
Kouvola	0528601 P10	15	7	15
Kouvola	Raisio lateksi Oy (hp 19)	375	1	1027
Kouvola	0590906 P23	3751	1	677
Kouvola	0590906 P24	3751	1	200
Kouvola	0590906 P25	3751	1	208
Kärkölä	Järvelä A, HP11	54	16	1474
Lahti	Kunnas (172 K)	4	203	150
Lahti	Kunnas (174 Hp)	4	203	116
Lahti	Kunnas (414, hp 4)	4	203	205
Lahti	Kunnas (176 Hp)	4	203	482
Lahti	Kunnas (171 K)	4	203	131

Lahti	Renkomäki (146 Hp)	4	120	127
Lahti	Renkomäki (143 K)	4	120	70
Lahti	Renkomäki (145 Hp)	4	120	127
Lahti	Renkomäki (144 K)	4	120	127
Lahti	Laune (133 K)	12	222	1409
Lahti	Laune (132 K)	12	222	1409
Lahti	Jalkarannan vanhatie 113	12	222	1409
Lahti	Jalkaranta 111	12	222	1215
Lahti	Jalkaranta (110 K)	12	222	1208
Lahti	Jalkaranta (114 K)	12	222	1399
Lahti	Jalkaranta (119 K)	12	222	1707
Lahti	Kärpänen (161 K)	12	222	844
Lahti	Riihelä (151 K)	12	222	500
Lahti	Riihelä (152 K)	12	222	513
Lahti	Riihelä (159 Hp)	12	222	122
Lahti	Urheilukeskus (121 K)	12	222	239
Lahti	Urheilukeskus (122 K)	12	222	317
Lahti	Valtatie 12 alikulku	12	222	26
Lappeenranta	0517351 P12	6	304	627
Lappeenranta	0517351 P21/12 UUSI	6	304	39
Lappeenranta	0517351P22	6	304	25
Lappeenranta	0517351P23	6	304	22
Lappeenranta	0517351P24	6	304	34
Lappeenranta	0517351 P26	6	305	24
Lappeenranta	0517351P27	6	305	23
Lappeenranta	Ukonhauta P17/12	6	306	26

Lappeenranta	Ukonhauta P18	6	306	35	
Lappeenranta	Myllypuro vo	3951	1	310	
Lappeenranta	Tiurun sairaala vo	3964	1	161	28
Lappeenranta	Rauhan sairaala vo	3964	1	61	
Lappeenranta	Peräsuonniitty vo	14832	1	850	
Lappeenranta	0517351P25	14840	1	28	
Lappeenranta	Ahvenlampi vo	14840	1	93	
Lohja	Vt1, PS3	1	11	94	
Lohja	Vt1, PS4	1	11	72	
Lohja	Vt1, PS10B	1	11	34	
Lohja	Vt1, PS7	1	11	24	
Lohja	Vt1, PS9	1	11	48	
Lohja	Vt1, SK900	1	11	616	
Lohja	Lehmijärvi	1	11	87	83
Lohja	Vt1, PS8	25	21	30	
Lohja	Myllylampi vo	1074	1	2064	39
Lohja	Lempola vo	1090	4	576	35
Lohja	Takaharju vo	11169	1	60	34
Luumäki	0544103 P01	6	210	20	
Luumäki	0544103 P02	6	210	21	
Luumäki	Jurvalan vo	6	210	74	41
Luumäki	0544101P05	6	209	33	
Luumäki	0544101P20	6	208	133	
Luumäki	0544101 U1 (24)	26	11	15	
Luumäki	0544101P01	26	11	13	
Luumäki	0544101U2 (PVP 23)	26	11	12	

Luumäki	0544101U3 (PVP20)	26	11	16	
Luumäki	0544101U4 (PVP22)	26	11	16	
Luumäki	0544101U5 (PVP21)	26	11	17	
Luumäki	Taavetti PVP3	26	11	30	
Luumäki	Taavetti vo	26	11	66	
Nastola	Alimmainen vo	12	227	2343	
Nastola	Uusikylä vo	12	227	2019	64
Nastola	Villähde, Vt 12	12	224	51	
Nastola	Villähteen vo	12	224	539	
Nastola	Levonniemi vo	312	2	661	
Nastola	Peltola vo	312	2	575	
Nastola	Mälkönen vo	14091	1	100	
Nurmijärvi	Valkoja (tiepiirin hp T1)	3	106	242	
Nurmijärvi	Valkojan vo, kaivo 1	3	106	219	
Nurmijärvi	Valkojan vo, kaivo 2	3	106	232	
Nurmijärvi	Kaninlähde KAN-K1	3	106	677	
Nurmijärvi	Pellonperä PEL-K1	3	106	137	43
Nurmijärvi	Savikko SAV-K1	3	106	450	
Nurmijärvi	Valkoja (tiepiirin hp 34)	3	106	23	
Nurmijärvi	Röykkä vo	25	28	1961	37
Nurmijärvi	Nukari vo	45	10	1829	
Nurmijärvi	TEI-K1	1321	3	28	
Nurmijärvi	Nummenpää vo	1322	3	3274	29
Nurmijärvi	Kiljava vo	11299	1	103	30
Nurmijärvi	Kiljava vo, KIL-K1	11299	1	105	
Nurmijärvi	Kiljava vo, KIL-K2	11299	1	199	

Nurmijärvi	Lepsämän vo, kaivo 1	11421	1	2063	
Nurmijärvi	Lepsämän vo, kaivo 2	11421	1	2063	
Nurmijärvi	Lepsämän vo, kaivo 3	11421	1	2063	
Nurmijärvi	Teilinummi K 120	11505	1	303	
Parikkala	Likolampi PAR1	6	321	54	
Parikkala	Likolampi PAR2	6	321	23	
Parikkala	Likolampi varavo	6	322	353	64
Raasepori	Ekerö vo	25	12	965	56
Raasepori	Nyby vo	25	15	702	42
Raasepori	Meltola vo	25	16	851	42
Raasepori	Mjölmarby vo	25	17	940	42
Raasepori	Björknäs vo	11055	1	1549	56
Raasepori	Maasilta vo (Landsbro)	11076	1	673	39
Rautjärvi	Änkilän sora-alue, HP2	6	318	454	
Riihimäki	Herajoki (kaivo 1)	3	110	1182	
Riihimäki	Herajoki (kaivo 2)	3	110	1145	
Riihimäki	Herajoki (kaivo 3)	3	110	1213	
Riihimäki	Herajoki (kaivo 4)	3	110	1034	
Riihimäki	Herajoki (kaivo 5)	3	110	1098	53
Ruokolahti	Oritlammen vo	6	312	645	33
Vihti	Niittylän vo	25	24	380	
Vihti	Nummelanharju T3	25	23	228	
Vihti	ISO-K1	11261	1	1376	54
Vihti	ISO-K2	11261	1	1399	54
Vihti	Rataskorven vo	11261	1	773	76

**LIITE 5. KAIVOT JA VEDENOTTAMOIDEN HANAT, JOISSA KLORIDIPITOISUUS ON YLITTÄNYT 25 MG L⁻¹ VÄHINTÄÄN
KERRAN SEURANTAHISTORIAN AIKANA**

Kunta	Pohjavesialue	Pohjavesialueen tunnus	Havaintopiste	Havainto- pisteen tyyppi	Cl-trendi koko seuranta- jaksolla	Seurantajakso	Kloridipitoisuus (mg l ⁻¹)			
							n	min	maks	ka
Hanko	Hanko	0107801	Ampumarata	K	↓	1.1.1984-10.12.2008	16	10,3	36	17,0
Hanko	Hanko	0107801	Furunäs (ei käytössä)	K	↑	1.1.1973-23.2.2010	8	8	130	30,2
Hanko	Hanko	0107801	Hopearanta	K	→	1.1.1967-3.6.2013	55	10	560	57,7
Hanko	Hanko	0107801	Mannerheimintie	K	↓	1.1.1967-11.7.2012	52	9	150	20,3
Hanko	Hanko	0107802	Santalanranta	K	↓	31.12.1970-2.9.2013	96	6	280	26,7
Hanko	Hanko	0107803	Koverhar	K	↘	1.1.1972-26.3.2007	8	25	70	33,4
Hausjärvi	Hausjärvi	0408602	Piirivuori (kaivo 2)	K	↓	1.3.1977-15.3.2005	36	6	26	10,8
Hausjärvi	Somervuori	0408651	Ryttylä	Vo	↓	1.1.1977-8.8.2012	42	1	46	5,4
Hyvinkää	Noppo	0110653	Noppo	K	↗	16.9.2003-8.1.2013	15	33	57	43,7
Iitti	Tillola	0514202	Myllytöyryn vo	K	↓	1.1.1977-1.6.2004	42	14	145	23,5
Kouvola	Kaipiainen	0575401	Kaipiainen vanha vo	Vo	↓	18.2.1981-1.6.2006	84	1	46	30,5
Lahti	Lahti	0439801	Jalkaranta 111	Vo	↗	1.1.1967-4.5.2009	60	6	44	11,0
Lappeenranta	Joutsenonkangas A	0517351 A	Ahvenlampi	K	↗	8.12.1970-1.1.2006	34	5	28	12,1
Lohja	Lohjanharju A	0142851 A	Myllylampi	K	↑	1.1.1961-23.10.2012	33	5	26	19,1
Lohja	Lohjanharju B	0142851 B	Lehmijärvi	K	↗	24.3.1992-23.10.2012	29	3,5	30	13,2
Luumäki	Taavetti	0544101	Taavetin vo	Vo	↑	1.1.1955-24.7.2012	67	2,1	68	30,3
Nastola	Nastonharju-Uusikylä A	0453252 A	Levonniemi	Vo	→	6.5.1980-24.5.2000	41	1	27	13,4
Nurmijärvi	Valkoja	0154301	Pellonperä	K	↘	25.4.1979-12.8.2013	46	18	41	27,0
Nurmijärvi	Valkoja	0154301	Savikko	K	↑	4.11.1993-2.5.2013	43	13	47	34,8
Nurmijärvi	Valkoja	0154301	Valkojan vedenottamo, kaivo 1	K	↑	20.9.1990-9.2.2010	74	37	69	50,1
Nurmijärvi	Valkoja	0154301	Valkojan vedenottamo, kaivo 2	K	↑	22.4.1976-9.2.2010	102	18	70	48,8
Nurmijärvi	Lepsämä	0154302	Lepsämän vedenottamo, kaivo 1	K	→	3.11.1993-12.11.2013	54	2,5	58	7,7
Nurmijärvi	Teilinummi	0154305	Teilinummi Kaivo 120	K	↓	28.9.1994-7.5.2001	6	1	99	52,0
Parikkala	Likolampi A	0558001 A	Likolampi (varavo)	Vo	↑	1.1.1967-1.1.2007	46	3	31	15,8

Raasepori	Karjaa B	0122001 B	Maasilta (Landsbro)	K	↑	1.1.1967-11.9.2012	42	12	38,2	32,9
Raasepori	Björknäs	0183551	Björknäs	K	↓	31.12.1969-4.7.2002	31	11	65	28,3
Riihimäki	Herajoki	0469451	Herajoki (kaivo 3, ei käytössä)	K	↑	26.9.1974-27.9.2006	46	8	44	21,9
Riihimäki	Herajoki	0469451	Herajoki (kaivo 4)	K	↓	17.9.1980-27.9.2006	49	16	89	27,0
Riihimäki	Herajoki	0469451	Herajoki (kaivo 5)	K	→	14.12.1994-27.9.2006	16	20	37	22,4
Vihti	Isolähde	0192704	ISO-K1	K	↗	16.6.2003-9.7.2013	12	25	32	28,7
Vihti	Isolähde	0192704	ISO-K2	K	↓	16.6.2003-11.4.2012	11	13	28	20,6
Vihti	Nummelanharju	0192755	Niittyjän vo	K	↘	15.4.2002-9.7.2013	13	2,6	29	12,2
Vihti	Nummelanharju	0192755	Rataskorven vo	K	↑	15.4.2002-20.9.2012	17	21	100	47,1